

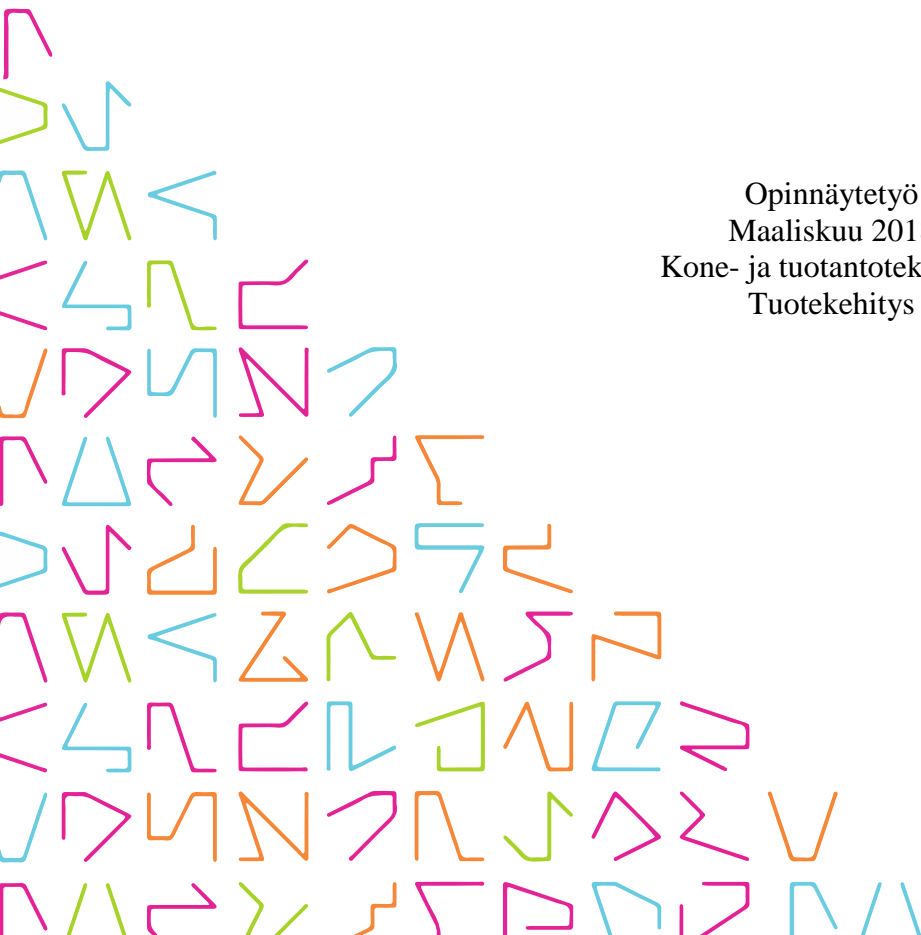


TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

RASKAAN REJEKTIN EROTTELULAITTEI- DEN SUUNNITTELU JA LUJUUSLASKENTA

Jari Heikkilä

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2018
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tuotekehityksen suuntautumislinja

HEIKKILÄ, JARI:

Raskaan rejektin erottelulaitteen suunnittelu ja lujuuslaskenta

Opinnäytetyö 67 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Maaliskuu 2018

Opinnäytetyö syntyi Valmet Technologies Oy:n Paperit liiketoimintalinjan massankäsittely- ja kiertokuitu teknologia yksikön tarpeesta luoda 3D-mallit raskaan rejektin erottelulaitteille projektisuunnittelun ja myynnin tueksi sekä suorittaa asianmukaiset lujuuslaskelmat laitteille. Tehtävänä oli tutustua Valmetin erottelulaitteiden toimintaan sekä niiden suunnittelussa tarvittavaan aineistoon. Työn tavoitteena oli luoda parametrinen 3D-malli raskaan rejektin erottelulaitteiden tuoteperheelle sekä suorittaa laitteille lujuuslaskenta FEM-ohjelmaa käyttäen.

Työssä onnistuttiin luomaan selkeästi toimiva, Excel-tiedostolla ohjattava parametrinen 3D-malli tuoteperheen laitteiden eri kokoluokille. Luotuja 3D-malleja käytettiin FEM-ohjelmalla suoritettavassa lujuuslaskennassa. Tuloksissa käsitellään FEM-laskennan pohjalta saatuja tuloksia erottelulaitteiden rakenteen jännityksistä ja muodonmuutoksista. Laitteiden rakennelaskelmien tuloksista tarkasteltiin rakenteen muodonmuutoksia sekä rakenteen jännityksiä.

FEM-analyysia tutkimalla voitiin varmistaa erottelulaitteiden kestävän niille suunnittelussa asetetut ehdot. Laitteiden 3D- mallien luonti projektisuunnittelun sekä myynnin avuksi onnistui toimivan parametrisen mallin luonnin myötä. Tuloksien pohjalta voitiin myös tehdä jatkokehittämisehdotuksia erottelulaitteiden rakenteen muuttamisesta.

Asiasanat: elementtimenetelmä, 3D- mallinnus, raskaan rejektin erottelulaite, parametri

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Product Development

HEIKKILÄ, JARI:

Design and Stress Analysis of a Heavy Reject Separation Device

Bachelor's thesis 67 pages, appendices 6 pages
March 2018

This thesis was commissioned by Valmet Technologies Oy. The product development unit of the company's paper business department had a need to create 3D-models for Valmet heavy reject separators for the support of project design and sales and to perform strength calculation for devices. The task was to get acquainted with Valmet's reject separation equipment and the materials needed for their design. The aim of the thesis was to create a parametric 3D-model for the reject separator product family and to perform strength calculations using the FEM-program.

Development of the parametric 3D model controlled by Excel file for heavy reject separator product family was successful. The 3D-models created in this study were used in FEM-program strength calculations. The results include the successful 3D modeling of the devices and the FEM based calculation. The principal stresses and deformations of the structure were inspected from the results of structural calculations.

The FEM analysis made it possible to ensure that the devices can withstand the conditions set for them. Based on the results, further development suggestions could be made to modify the structure of the separation devices.

Key words: Finite element method, 3D- modelling, heavy reject separator device, parameter

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	VALMET	8
2.1	Valmet historia.....	8
2.1.1	Valmet Oyj	8
2.2	Paperit-liiketoimintalinja	9
2.2.1	Valmet massankäsittely ja kiertokuituteknologia	10
3	OPTITRAP REJECT TUOTEPERHE	11
3.1	OptiTrap erottelulaitteet.....	11
3.2	Massan pulpperointi eli hajoitus	11
3.2.1	Pulpperin toiminta.....	12
3.3	Korkeasakeus pyörrepuhdistus- prosessi	12
3.3.1	Korkeasakeus pyörrepuhdistin	13
3.4	RS – Reject Separator	14
3.4.1	Erottelulaitteen toiminta prosessissa	14
3.4.2	OptiTrap- erottelulaitteiden toimintaperiaate.....	15
3.4.3	RS laitteiden romuloukku	15
4	TEORIA	17
4.1	3D-SUUNNITTELUN PERIAATTEET	17
4.1.1	Mallityypit ja mallinnusmenetelmät	17
4.1.2	Parametrinen piirremallinnus	18
4.2	Elementtimenetelmä	19
4.2.1	FEM (Finite Element Method).....	20
5	TYÖN ETENEMINEN	22
5.1	Aiheen rajaus	22
5.2	Työn aihe	22
6	ESIVALMISTELU JA LÄHTÖTIETOIHIN PEREHTYMINEN	24
6.1	Työn suunnittelu	24
6.1.1	Painelaitedirektiivi, PED.....	25
6.1.2	RS-Erottelulaiteiden materiaalit.....	26
6.1.3	Laippojen ja kaulusten valinta	27
7	EROTTELULAITTEIDEN MALLINTAMINEN	30
7.1	Erottelulaitteiden mallintamisen menetelmät	30
7.2	Luurankomallin luonnin vaiheet	31
7.2.1	Geometrian luonti Inventorilla.....	31
7.2.2	Geometrisien ehtojen asettaminen	33
7.2.3	Mitoittaminen.....	34

7.2.4	Osamallien piirteiden luonti	34
7.2.5	Kokoonpano	38
8	PARAMETRINEN MALLI	40
8.1	Excel-tiedosto	40
8.1.1	Mittaparametrien valinta ja nimeäminen	41
8.1.2	Mittojen sitominen parametri- taulukkoon.....	41
9	RAKENTEEN GEOMETRIAN OPTIMOINTI	43
9.1	Mallien muokkaaminen SpaceClaim-ohjelmalla.....	43
10	FEM-ANALYYSI	46
10.1	ANSYS-simulointiohjelma	46
10.2	ANSYS-ohjelman materiaaliominaisuuksien määrittäminen	47
10.3	Rakenteen elementtiverkko.....	49
10.4	Kontaktit	51
10.5	Reunaehdot ja kuormitukset	53
11	Tulokset	56
11.1	Jännitykset	56
11.2	Venymät.....	58
12	YHTEENVETO JA ARVIOINTI	59
	LÄHTEET	60
	LIITTEET	62
	Liite 1. Excel- parametrityluluko 1 (2)	62
	Liite 1. Excel- parametrityluluko 2(2)	63
	Liite 2. Standardin EN 10028-7 tauluko 15. (SFS-EN 10028-7, 28)	64
	Liite 3. Standardin EN 10088-2 tauluko 15 (SFS-EN 10088-2, 43)	65
	Liite 4. Standardin EN 10025-2 tauluko 7 (SFS EN 10025-2, 42).....	66
	Liite 5. RS 700 ja RS 1400 rejehtikartion laskenta	67

LYHENTEET JA TERMIT

2D	Two dimensional, kaksiulotteinen.
2D- suunnittelu	Yhdellä tasolla tapahtuva kaksiulotteinen suunnittelu.
3D	Three-dimensional, kolmiulotteinen
3D- suunnittelu	Kolmiulotteinen suunnittelu, jonka tuloksena syntyy kolmiulotteinen malli.
CAD	Computer Aided Desing, tietokoneavusteinen suunnittelu
FEM	Finite element method, elementtimenetelmä
ANSYS	Kaupallinen FEM- laskentaohjelma
Pintamalli	3D-malli, joka koostuu kappaleen pintageometriasta
Tilavuusmalli	3D-malli, joka sisältää kaiken kappaleeseen mallinnetun geometrian

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on raskaan rejektin erottelulaitteiden suunnittelu ja lujuuslaskenta. Työ suoritetaan Valmet Technologies Oy:n massankäsittely- ja kiertokuitu teknologian tuotekehitysyksikön toimeksiannosta Kaukajärvellä Tampereella. Opinnäytetyön aihe muodostui kesäharjoittelujaksolla elokuussa 2017 tiedustellessani esimieheltäni mahdollisuutta suorittaa opinnäytetyö kyseiselle yritykselle. Valmetilla oli tarve päivittää OptiTrap reject -erottelulaitteiden tuoteperheen 3D-mallinnus. Tähän asti tuoteperheestä oli saatavilla 2D työ kuvat. Tehtävä osoittautui ajankohtaiseksi, koska laitteita on suunniteltu käytettävän vuoden 2018 alkupuolella alkavassa projektissa

Aihe rajattiin yhdessä esimieheni Tuomo Ahon ja työnohjaajani Ahti Alavatajan kanssa käsittämään erottelulaitteiden tuoteperheen parametrinen 3D-mallin luomisen sekä lujuuslaskelmien suorittamisen FEM-laskentaohjelmalla kahdelle laitekokoluokalla.

Työn tavoitteena on luoda mahdollisimman helppotoiminen ja selkeä CAD-parametri-malli raskaan rejektin erottelulaitteen tuoteperheelle. Parametrisoituja 3D-malleja käytetään projektisuunnittelussa ja myynnin tukena. Tarkoituksena oli toteuttaa parametrinen malli, joka sisältäisi raskaan rejektin erottelulaitteiden tuoteperheen laitekokoluokat yhdessä 3D-mallissa. Päämääränä oli myös suorittaa riittävät lujuuslaskelmat tuoteperheelle, jotta voitiin todentaa ja varmistaa laitteiden tukirakenteiden ja painesäiliöiden kesto. Erottelulaitteista tehtyjä 3D-malleja käytettiin apuna FEM-ohjelmalla suoritettavassa lujuuslaskennassa. Erottelulaitteiden suunnittelussa huomioidaan painelaitedirektiivissä määritetyt säädökset sekä standardit osien suunnittelussa ja laitteiden materiaalien lujuusominaisuuksien määrittämisessä.

Suurin osa opinnäytetyöstä kuvaa 3D-mallien suunnittelua ja luomista sekä parametrien yhdistämistä siihen. Opinnäytetyössä myös käydään läpi FEM-analyysin erivaiheita ja siitä saatuja tuloksia. Opinnäytetyössä oletan, että lukijalla on aikaisempaa kokemusta 3D-mallinnusohjelmien käytöstä ja niiden toimintaperiaatteesta sekä lujuusopin perusteista.

2 VALMET

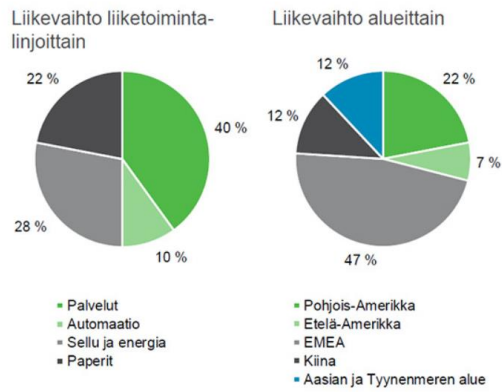
Opinnäytetyö suoritettiin Valmet Technologies Oy:n kartonki- ja paperitehtaat liiketoimintayksikön massankäsittelyn toimeksiannosta. Valmet on maailman johtava teknologian, automaation ja palveluiden toimittaja ja kehittäjä sellu-, paperi- ja energiateollisuudelle.

2.1 Valmet historia

Valmetilla on yli 200 vuoden teollisuushistoria. Useat yritykset, jotka ovat osa Valmetia on perustettu jo 1800-luvulla. Vuonna 1946 monia Suomen valtion omistuksessa olevia metallitehtaita yhdistyi Valtion metallitehtäiksi ja vuoden 1951 alussa näistä tuli Valmet Oy. Valmetin tuotevalikoima on vuosien saatossa laajentunut huomattavasti alkuajoista ja siihen kuuluivat mm. traktorit, veturit, laivanmoottorit, laivat, lentokoneet sekä paperikoneet. Vuonna 1999 Valmetin ja Rauman fuusiossa syntyi Valmet-Rauma Oyj, jonka nimi myöhemmin muuttui Metso Oyj:ksi. Vuonna 2013 Metso Oyj jakautui kahdeksi eri pörssiyhtiöksi, Metsoksi ja Valmetiksi. Jakautumisen jälkeen Metson Oyj:n massa, paperi ja voimantuotanto- liiketoiminnot muodostivat uuden yhtiön Valmet Oyj: n. (Valmet kotisivut n.d)

2.1.1 Valmet Oyj

Valmet Oyj on suomalainen sellu-, paperi- ja energiateollisuuden teknologia-, automaatio- ja palvelutoimittaja ja kehittäjä. Valmetin alaisuudessa työskentelee noin 12 000 henkilöä yli 30 maassa ympäri maailman. Valmetin liiketoiminta on jaettu neljään eri liiketoimintalinjaan: Sellu ja energia, palvelut sekä paperit ja automaatio. Yrityksen Maantieteelliset alueet on jaettu viiteen alueeseen, joita ovat Pohjois- ja Etelä Amerikka, EMEA (Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka), Kiina, Aasian ja Tyynenmeren alue. Kuvassa 1 on esitetty Valmetin liikevaihto liiketoimintalinjoittain sekä alueittain vuonna 2016.



KUVA 1. Yhtiön liiketoiminnot vuonna 2016 (Valmet kotisivut 2017.)

Valmetilla on vankka markkina-asema jokaisessa liiketoiminnassaan. Valmet Oyj- yhtiön liikevaihto vuonna 2017 oli noin 3,2 miljardia euroa. Joulukuusta 2013 Valmetin toimitusjohtajana on toiminut Pasi Laine. (Valmet kotisivut 2017.)

2.2 Paperit-liiketoimintalinja

Valmet tekee kartonki-, pehmopaperi- ja paperikoneita ja -laitteita sekä koneuudistuksia kyseisten alojen teollisuudelle. Uusia kartonki- ja paperikoneita tilataan useimmiten Kiinan, Aasian ja Tyynenmeren alueelle ja Pohjois- Amerikan ja Euroopan alueelle. Paperit-liiketoimintalinja suurin markkina-alue oli vuonna 2016 EMEA (Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka) 34% koko myynnistä. Valmetin paperit-liiketoimintalinjalla on useita toimipisteitä ympäri maailmaa (kuva 2).



KUVA 2. Paperit-liiketoimintalinjan toimipisteet

2.2.1 Valmet massankäsittely ja kiertokuituteknologia

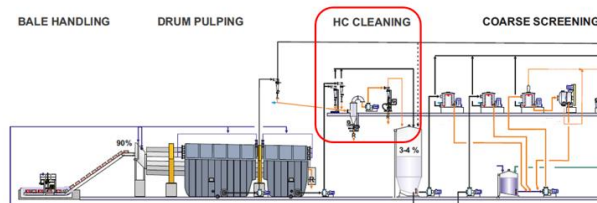
Valmetin massankäsittelyn tuotteet ja osaaminen ovat kehittyneet vuosikymmenten aikana Pirkanmaalla. Massankäsittely ja kiertokuituteknologia ovat osa Valmetin paperiliiketoimintalinjaa. Siihen sisältyvät konseptit eli prosessit ja laaja tuotevalikoima kartonki, paperi- ja tissuetehtaiden massankäsittelymiseksi. Lyhyesti selitettynä massankäsittely tarkoittaa raaka-aineen prosessointia neitseellisestä kuidusta perälaatikolle ja kiertokuidulla vastaavasti kierrätettävä raaka-aineen prosessointia, puhdistusta ja annostelua koneelle. Tuotteita ja prosesseja myydään ja toimitetaan uusiin paperin- tai kartongin valmistuslinjoihin tai erillismyyntinä suoraan asiakkaille. Massankäsittelyn tuotekehityksen tavoitteena on lähtökohtaisesti energian ja raaka-aineen säästöt ja näin ollen kilpailukyisen teknologian tarjoaminen. Valmet panostaa jatkuvasti tutkimukseen, joko omassa massankäsittely pilot-laitoksessa tai yhteistyössä eri projekteissa asiakkaiden ja tutkimuslaitosten kanssa. (Aho 2018).

3 OPTITRAP REJECT TUOTEPERHE

Valmetin OptiTrap Reject tuoteperheeseen kuuluu usean erikokoisen sakeamassapyörrepuhdistimen (HC- high consistency) lisäksi kolme eri kokoluokan raskaan rejektin erottelulaitetta. Opinnäytetyössä käsitellään kokoluokkien RS-700, RS-1000 ja RS-1400 parametrissa 3D- mallintamista sekä lujuuslaskentaa.

3.1 OptiTrap erottelulaitteet

OptiTrap Reject tuoteperheen erottelulaitteet sijoittuvat yleisesti ottaen massankäsittelyn alkupäähän seulonta- ja puhdistusosioon ennen karkean lajittelun prosessia (kuva 3). Taroituksena on puhdistaa paperi- tai kartonkimassa raskaista epäpuhtauksista.



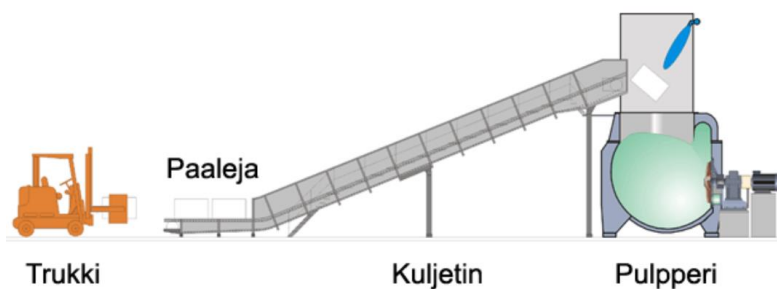
KUVA 3. Erottelulaitteiden positio prosessissa

3.2 Massan pulpperointi eli hajoitus

Pulpperointiprosessi on pääperiaatteeltaan samanlainen riippumatta siitä, onko kyseessä sellu- tai kiertokuitumassa. Tässä kappaleessa on kuvattu massan hajotus. Kemiallista massaa eli sellua voidaan toimittaa kahdella eri tapaa tehtaalte, riippuen onko tehdas integroitu vai ei. Integroidussa tehtaassa, jossa sellutehdas on yhdistetty paperitehtaaseen, pumpataan valmis sellu suoraan paperitehtaalte. Tällöin paperitehtaan massankäsittelyssä ei tarvitse huomioida sellupaalien käsittely- ja pulpperointi järjestelmää. Integroimattomassa tehtaassa sellu kuljetetaan sellupaaleina tehtaalte, jossa paalit pulpperoidaan eli hajotetaan. Kiertokuitua käyttävissä tehtaissa raaka-aine tulee tehtaalte aina paaleina, jotka syötetään kuljettimilla pulpperiin. Pulpperoinnin tehtävänä on hajottaa massa pumppattavaan muotoon, jotta se voidaan siirtää prosessissa eteenpäin. (KnowPap 2017).

3.2.1 Pulperin toiminta

Massapaalien pulperointi on ensimmäinen vaihe massankäsittelyprosessissa. Pulperissa kuivan sellu- tai paperiarkin kuidut pyritään irrottamaan toisistaan liottamalla ja sekoittamalla massalietettä. Kuljetin syöttää raakamateriaalin (kuivat sellu-, paperiarkit tai kiertokuitupaalit) ja veden pulperille hajotettavaksi (kuva 4). Paalit hajoavat massasulpuksi.



KUVA 4. Paalien syöttäminen pulperille (KnowPap 2017)

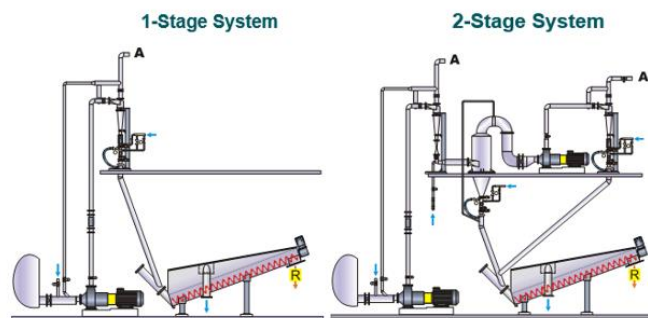
Massalietettä eli sulppua sekoitetaan pulperissa olevalla roottorilla, joka sekoittaa voimakkaasti lietettä. Massojen hajotus perustuu mekaanisiin ja hydraulisiin voimiin. Mekaaninen voima hajottaa paalit tai arkit pienemmiksi palasiksi, jonka jälkeen massa sisäinen kitka (hydraulinen voima) edistää massa kuituuntumista. Pulperointi perustuu pääasiassa hydraulisten voimien kuiduttavaan vaikutukseen. Pulperoitu massa on pumpattavissa massankäsittelyn seuraavaan vaiheeseen, joka yleisimmin on lajittelu- ja erottelu-prosessi. (KnowPap 2017)

3.3 Korkeasakeus pyörrepuhdistus- prosessi

Pyörrepuhdistuksen (HC Cleaning) päätehtävänä prosessissa on raskaiden epäpuhtauksien erottaminen sulpusta ennen karkeaa lajittelua. Pyörrepuhdistus on erittäin tärkeä vaihe yksikköprosessi käsiteltäessä kiertokuitua. Pienikin roska tai epäpuhtaus voi aiheuttaa laatu- ja ajettavuusongelmia myöhemmässä vaiheessa tuotteen valmistusta.

3.3.1 Korkeasakeus pyörrepuhdistin

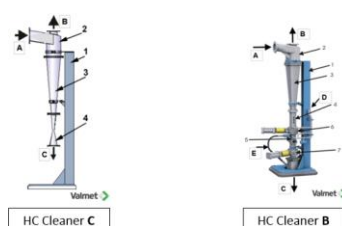
Korkeasakeus pyörrepuhdistimen (HC Cleaner) tehtävänä on poistaa prosessista raskas rejekti, kuten esimerkiksi hiekka, sora, niitit, muovi ja lasi. Nämä voisivat pidemmällä prosessissa aiheuttaa ongelmia laadun suhteen. Pyörrepuhdistimien tehtävänä on myös suojata loppupään laitteita epäpuhtauksien aiheuttamalta hankauskulumiselta, mahdollistaen niiden kestävä toiminnan. Pyörrepuhdistimia voidaan käyttää prosessissa sekä yksivaiheisessa järjestelmässä tai yhdessä raskaan rejektin erottelulaitteen (Reject Separator) kanssa kaksivaiheisessa järjestelmässä (kuva 5). Kaksivaiheista pyörrepuhdistusta käytetään tyypillisesti kiertokuitumassalla.



KUVA 5. 1.- ja 2.- vaiheinen järjestelmä

Valmet pyörrepuhdistimia on eri malleja ja niitä käytetään prosessin vaatimusten ja massan laadun mukaan. Malli C on jatkuvalla rejektin poistolla varustettu ja malli B on varustettu jaksottaisella rejektin poistolla (kuva 6).

Rejekti erotellaan kuitumassasta pyörrepuhdistimissa syöttäen massa sisääntuloliitännästä (A) tangentiaalisesti. Laitteen sisään syntyy kierrevirtaus. Kierrevirtauksen ansiosta kevyet partikkelit, kuten sulppu alkavat kulkeutua ylöspäin ja raskaat partikkelit, kuten hiekka, sora, lasi kulkeutuvat alaspäin.

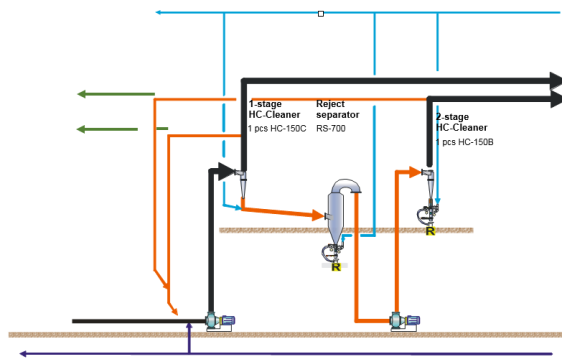


KUVA 6. Pyörrepuhdistimien rakenne

Rejektien erottelua säädellään huuhteluvedellä. Rejektipartikkeleiden poistoa ohjataan On/Off- venttiilillä tai laitteen rejektikartion muotoa käyttäen riippuen käytetystä laitemallista. Aksepti pumpataan liitännän (B) kautta prosessin seuraavaan vaiheeseen.

3.4 RS – Reject Separator

Raskaan rejektin erottelulaite (Reject Separator) toimii prosessissa yleisimmissä tapauksissa aina yhdessä kahden pyörrepuhdistimen kanssa, kaksivaiheisessa järjestelmässä (kuva 7). Sen tehtävä on poistaa raskas rejekti sulpun seasta ja ohjata aksepti eteenpäin prosessissa. Sekä suojata loppupään laitteita rejektin aiheuttamalta kulumiselta.



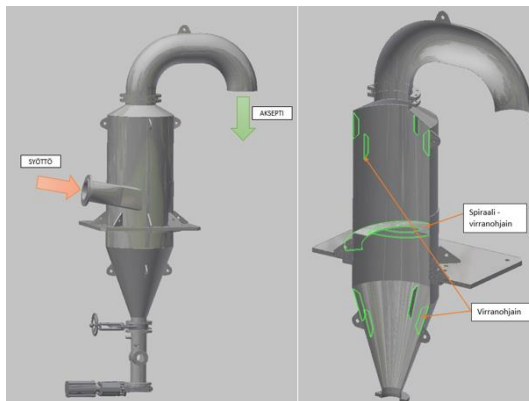
KUVA 7. Optitrap- erottelulaitteen sijainti prosessissa

3.4.1 Erottelulaitteen toiminta prosessissa

Sulppu pumpataan kaksivaiheisessa järjestelmässä ensiksi kulkemaan pyörrepuhdistimen läpi, jonka keräämä rejekti johdetaan raskaan rejektin erottelulaitteelle (Reject Separator). Erottelulaite erottelee raskaat partikkelit ja ne poistetaan laitteen romuloukun kautta. Erottelulaitteelta aksepti siirretään pumpun avulla sekundääri pyörrepuhdistimelle. Sekundääri pyörrepuhdistimella rejekti erotellaan romuloukkujen kautta, jotka toimivat jaksottain. Ylempi romuloukun venttiili on rejektin keräysvaiheessa auki ja alempi venttiili on kiinni. Rejekti poistetaan sulkemalla ylempi venttiili ja avaamalla alempi, rejekti huuhtoutuu pois romuluukusta. Tämän jälkeen venttiilit palaavat alkuasentoonsa. Pyörrepuhdistusprosessin jälkeen raskaasta rejektistä eroteltu sulppu ohjataan prosessissa seuraavaan vaiheeseen, joka on karkealajittelu.

3.4.2 OptiTrap- erottelulaitteiden toimintaperiaate

Massa syötetään raskaan rejektin erottelulaitteelle laitteen kyljessä sijaitsevasta syöttöyh-teestä. Laitteen sisällä sulppua ohjataan erilaisilla virtausohjaimilla tarkoituksena erotella ja ohjata raskaat partikkelit eroon massasta (kuva 8). Massan maksimi virtausnopeus laitteen sisällä on 0,2 m/s.



KUVA 8. Erottelulaitteen toiminta (kuva: Jari Heikkilä, 2017)

Virtauksen ansiosta raskaat partikkelit kulkeutuvat laitteen reunoille ja laskeutuvat lopulta laitteen pohjalle, josta ne kerätään erottelulaitteen romuloukkuun. Kevyempi massa nousee virtauksen ja imupaineen ansiosta ylöspäin. massa pumpataan akseptiputken kautta prosessissa eteenpäin jatkokäsittelyä varten.

3.4.3 RS laitteiden romuloukku

Romuloukun tarkoituksena on kerätä RS-erottelulaitteen pohjalle kertynyt raskas rejekti ja poistaa se prosessista. Romuloukku kerää hiekan, metallin, lasin ja muun raskaan lian (kuva 9.)



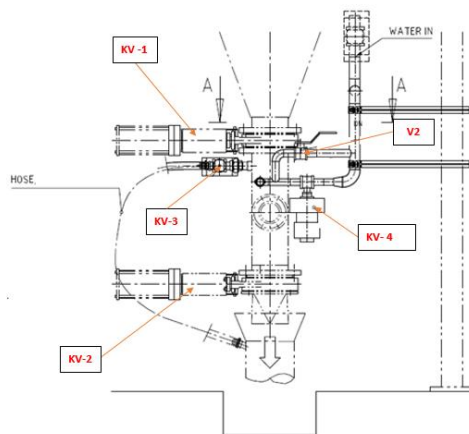
KUVA 9. Laitteen keräämää rejektiä

Romuloukku sijaitsee kahden levyluistinventtiilin välissä. Venttiilejä apuna käyttäen poistetaan rejekti laitteesta. Romuloukun toiminta on selitetty taulukossa 1 ja kuvassa 10.

Romuloukun toiminnan kuvaus vaiheittain:

Taulukko 1. Erottelulaitteiden romuloukun toiminnan kuvaus vaiheittain.

Tila:	Tehtävä ja selitys:
Rejektin keräysajastin käynnistyy	Rejektin keräysventtiili KV-1 aukaistaan
kun aika on kulunut	Rejektin keräysventtiili KV-1 suljetaan
Rejektin tyhjennysventtiili KV-2 ja ilmanpoistoven- tiili KV -3 aukaistaan	
Rejektin tyhjennysajastin käynnistyy	
Kun aika on kulunut	Rejektin tyhjennysventtiili KV-2 suljetaan ja veden täyttöventtiili KV-4 aukaistaan.
Kun aika on kulunut	Poistoven- tiili KV-3 ja veden täyttövent- tiili KV-4 suljetaan
Palataan alkutilaan, kunnes sykli pysäy- tään	



KUVA 10. Erottelulaitteen romuloukun toiminnan mallikuva (Mallikuva RS-laitteen romuloukku, Jari Heikkilä, 2017)

4 TEORIA

4.1 3D-SUUNNITTELUN PERIAATTEET

3D-mallintaminen suunnittelutapana on kasvanut huomattavasti osuuttaan ja tulevaisuudessa yritykset siirtyvät vielä suuremmissa määrin 3D-mallinnusohjelmien käyttöön. Tämä johtuu 3D-mallintamisen paremmasta tehokkuudesta verrattuna 2D-mallintamiseen. 3D-mallinnuksessa on myös muita etuja mallinnuksen lisäksi, joita 2D-ohjelmat eivät pysty tarjoamaan. 3D-mallinnusta käyttämällä voidaan säästää kustannuksista, esimerkiksi uusia tuotteita tai prototyyppejä valmistettaessa. 3D-mallinnusta voidaan käyttää tuotekuvien tekemiseen, mutta erityisesti sitä voidaan hyödyntää osien yhteensovittamiseen sekä rakenteiden toimivuuden varmistamiseen. (Tuhola & Viitanen 2008, 13.)

3D-mallinnuksella tarkoitetaan tuotteiden suunnittelua kolmiulotteisesti. 3D-mallista puhuttaessa tarkoitetaan kolmiulotteista tuotetta, joka on ulkonäöltään ja ominaisuuksiltaan lopullisen tuotteen malli ja sitä voidaan tarkastella kolmiulotteisessa avaruudessa. 3D-malleja voidaan hyödyntää myös lujuuslaskentamallien sekä lujuusanalyysien teossa. (Tuhola & Viitanen 2008, 13-20.)

4.1.1 Mallityypit ja mallinnusmenetelmät

3D-mallintaminen voidaan jakaa kolmeen päämenetelmään, joita ovat kappalemallinnus, levymallinnus ja pintamallinnus. Metalliteollisuudessa kone- ja laitesuunnittelussa käytetään yleisesti kappale- ja levymallinnusta. Pintamallinnus ja pintamallit eivät menetelmällisesti sovellu koneenrakennukseen yhtä hyvin kuin edellä mainitut menetelmät. (Tuhola & Viitanen 2008, 26.)

Kappalemallinnuksen eli solidimallinnuksen avulla luodaan kappalemalli. Menetelmässä luodaan ja muokataan valmiita umpinaisia muotoja, kuten esimerkiksi kartioita, ympyröitä, neliöitä ja kolmioita. Yleisimmät muokkaustavat ovat pursotus ja leikkaus, joilla valmista muotoa pyritään muokkaamaan, joko poistamalla tai lisäämällä siihen muita sopivanmuotoisia kappaleita. Kappalemallinnuksella tuotettujen tuotteiden muokkaamisessa käytettäviä työstömenetelmiä ovat lastuava työstömenetelmät, kuten sorvaus, jyrsintä ja poraus. (Tuhola & Viitanen 2008, 26)

Ohutlevymallinnuksessa luodaan ohutlevymalli (levymalli) levymäisestä kappaleesta. Levyn paksuudesta riippuen käytetään joko nimitystä levymallinnus (Sheet metal) tai ohutlevymallinnus. Ohutlevyllä tarkoitetaan yleisesti alle 6 mm paksuista levyä. Ohutlevymallit luodaan mallinnusohjelman Sheet metal-työkaluja käyttäen. Levymallinnuksella tehtyjä tuotteita muokataan kanttaamalla, särmäämällä sekä käyttämällä puristus- ja vetotyökaluja. (Tuhola & Viitanen 2008, 27-28.)

Pintamallinnuksessa malli luodaan erilaisten pintojen avulla. Pintamallinnus on pääosin muotoilijoiden työkalu, mutta sitä voidaan toki hyödyntää muissakin mallinnusmenetelmissä. Yleisesti pintamallinnusta käytetään tuotteiden mallintamiseen, jotka valmistetaan valamalla sekä erilaisia pursotustyökaluja käyttäen. (Tuhola & Viitanen 2008, 29.)

4.1.2 Parametrinen piirremallinnus

Parametrinen piirremallinnusjärjestelmä tarkoittaa tietokoneavusteista suunnitteluohjelmistoa. Tällä suunniteltavasta tuotteesta luodaan kolmiulotteinen malli. Kolmiulotteisia tuotemalleja voidaan hyödyntää huomattavasti tehokkaammin verrattuna kaksiulotteisiin piirustuksiin. Esimerkiksi kokoonpanojen osien törmäykset tai yhteensopimattomuus fyysisessä kokoonpanossa saadaan helposti selvitettyä. Mallinnusprosessin osista, piirustuksista ja kokoonpanoista voidaan suhteellisen helposti luoda perinteiset kaksiulotteiset valmistus- ja kokoonpanopiirustukset. Samasta 3D-mallista luodut piirustukset päivittyvät automaattisesti mallia muokatessa kaikkiin piirustuksiin, joissa se esiintyy. (Hietikko 2007, 21-23.)

Parametrisessa mallissa kohteeseen kytkettyjä mittoja voidaan muuttaa missä tahansa vaiheessa halutaan niin, että kohteen geometria muuttuu vastaavasti. Tämä helpottaa myös jälkikäteen tehtävien muutosten tekoa. Jos mallin jotakin mittaa halutaan muuttaa niin riittää, että geometriaan kytkettyä mittalukua muutetaan. Näin ollen ei kappaleen geometriaan enää tarvitse koskea. Parametrisessa mallissa mallin mittojen välille voidaan myös muodostaa riippuvuuksia, matemaattisia yhteyksiä sekä erilaisia ehtoja kuten symmetria-, samakeskisyyss- tai yhdensuuntaisuusehdot. (Hietikko 2007, 21-23.)

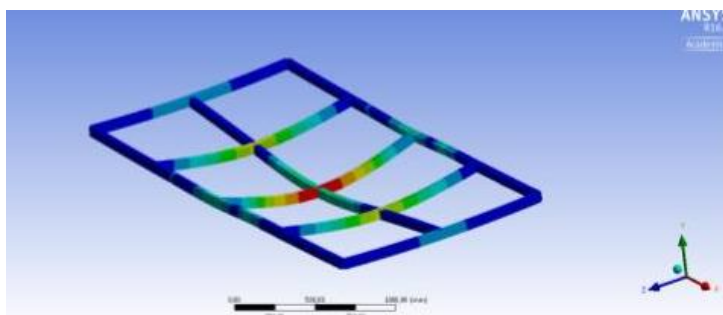
Parametrinen piirremallinnus on suurelta osin syrjäyttänyt vanhan kaksiulotteisen suunnittelujärjestelmän, sillä jo yli 90 % kaikesta mekaniikkasuunnittelusta suoritetaan parametrin piirremallinnuksen avulla. Parametrisuuden myötä integraatio on kehittynyt huomattavasti. Esimerkiksi FEM-laskennassa käytettävät elementtiverkot on kytketty piirteiden mittoihin. Näin ollen voidaan ottaa geometriassa tapahtuvat muutokset automaattisesti huomioon ja vähentää tarvittavan muutoksen tekoon kuluvaa aikaa. (Hietikko 2007, 21-23.)

4.2 Elementtimenetelmä

Tietokoneiden laskentakapasiteetin kasvun myötä on viime aikoina yhä enemmän analysointivälineenä käytetty FEM (Finite Element Method) eli elementti menetelmää. Usein käytetään myös lyhennettä FEA (Finite Element Analysis), jolla viitataan elementtimenetelmällä suoritettavaan laskentaan. Menetelmä on jo niin yleinen, että sillä voidaan mallintaa lähes millainen kappale, kokonaisuus tai kuormitus tahansa. Elementtimenetelmän avulla pystytään tuottamaan liki- määräisratkaisuja lähes miltä tahansa insinööritieteiden alueelta. (Hietikko 2013, 170-171.)

Elementtimenetelmän käyttö alkoi Yhdysvalloissa 1950- luvulla lentokoneiteollisuuden käytössä, mutta levisi myös nopeasti kone - ja rakennustekniikan alueille. Menetelmä kehittyi tietokoneiden mukana 1960- 1970 luvuilla, jolloin kehitettiin monia lineaarisen statiikan ja dynamiikan ohjelmistoja. Menetelmän menestyneisyys perustuukin suurelta osin tietokoneisiin ja niiden kehitykseen. Tietokoneiden ansiosta suurten numerolaskumäärien käsittely pystytään suorittamaan kohtuullisessa ajassa ja se onkin korvannut kokeelliset menetelmät, jotka ovat varsin harvinaisia. (Lähtenmäki 2012, elementtimenetelmän perusteet)

FEM-ohjelmistot nykyisin ovat visuaalisesti selkeitä ja huomattavasti käyttäjäystävällisempiä kuin ennen. FEM-ohjelmistot havainnollistavat käyttäjälle värein sekä liikkein kappaleissa tapahtuvia muodonmuutoksia (kuva 11).



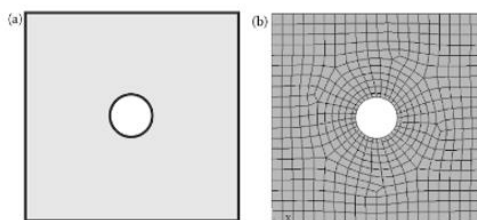
KUVA 11. Palkkirakenteen isometrinen kuva muodonmuutos tilasta

Kuvien värit ovat valittu parhaiten havainnollistamana missä maksimiarvot ja minimiarvot sijaitsevat rakenteessa. Punaisen värinsävyt ilmaisevat maksimiarvoja ja sinisen värin sävyt ilmaisevat minimiarvoja.

4.2.1 FEM (Finite Element Method)

FEM-menetelmä perustuu ajatukseen kuvata monimutkainen rakenne pieninä yksinkertaisina osina eli elementteinä, jotka ovat kytkeytyneet toisiinsa solmupisteiden avulla. FEM-menetelmää voidaan soveltaa monien teknisten ongelmien matemaattisten mallien ratkaisemiseen, kuten jännityksien, monimutkaisten laitteiden sekä dynaamisia reaktioiden tarkasteluun. (Xiaolin & Yijun 2014, 1-3.)

FEM-menetelmä helpottaa käyttäjää myös ymmärtämään omaa malliaan ja ottamaan huomioon suunnitelmamuutokset jo tuotteen tuotekehityksen varhaisessa vaiheessa sekä mahdollistaa rakenteen kestävyys tarkastelun. FEM- menetelmässä tutkittavalle rakenteelle luodaan elementtikokonaisuus, joka muodostuu pienistä elementeistä (kuva 12). Tätä pienten elementtien muodostamaa elementtikokonaisuutta kutsutaan elementtiverkoksi (Mesh). Elementit ovat kytketty toisiinsa nurkkapisteistään eli solmupisteissä (Nodes).

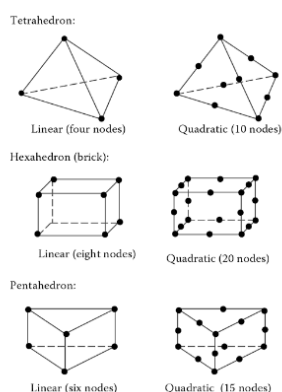


KUVA 12. Esimerkki elementtiverkon luonnista levyllä (Xiaolin & Yijun 2014, 4.)

Elementtien muoto on monesti sidottu, mutta muokkaamalla elementtiverkkoa voidaan mallintaa lähes kaiken muotoisia kappaleita. (Hietikko 2004, 147-151.)

FEM- ohjelmistoissa on suuri valikoima eri elementtityyppejä, jotka kaikki perustuvat lujuusopin teoriaan (kuva 13). Suurin osa laskennasta kuitenkin tapahtuu peruselementtejä käyttäen, joita on noin parikymmentä. Muita elementtityyppejä voidaan käyttää erityistilanteissa. Yhdessä laskentamallissa voidaan käyttää lähes rajoituksetta erityyppisiä elementtejä, jonka ansiosta monimutkaistenkin rakenteiden analysointi on mahdollista. (Lähteenmäki 2012)

Yleisimmät elementtityypit ovat 1D, 2D sekä 3D-elementit. Näillä elementtityypeillä pystytään kuvaamaan riittävän tarkasti käytännön ratkaistavia geometrioita.



KUVA 13. Erityyppisiä 3D elementtejä (Xiaolin & Yijun 2014, 196.)

Elementtimallin käyttö riippuu analysoitavasta kappaleesta. Elementtien koko voi vaihdella tutkittavassa kappaleessa paljolti. Yleisesti ottaen kappaleen jännityshuippujen kohdalla käytetään tiheämpää elementtiverkkoa. Alueilla joissa huomattavia jännityksiä ei oleteta syntyvän, voidaan verkkoa harventaa.

FEM-malli on helpommin ymmärtää, kun se ajatellaan jousien/elementtien yhdistämäksi kokonaisuudeksi. Mallille asetettava ulkoinen kuormitus muokkaa elementtien(jousien) asemaa ja muotoa kunnes systeemi saavuttaa tasapainonsa. Rakenteen kutakin elementtiä kohden voidaan kirjoittaa tasapainoyhtälöt. Kuormituksien avulla voidaan määrittää kunkin solmupisteen siirtymät. Solmupistesiiirtymien avulla pystytään laskemaan rakenteeseen vaikuttavat jännitykset. Tämä johtaa monimutkaiseen yhtälöryhmää, jonka ratkaisemisessa käytetään matriisilaskentaa. Koska yhtälöitä voi olla kymmenistä aina moniin tuhansiin, on tietokoneen käyttö ehdotonta. (Hietikko 2004, 147-151.)

5 TYÖN ETENEMINEN

Opinnäytetyön aihe alkoi muodostua Valmetilla kesäharjoittelujakson loppupuolella elokuussa 2017. Keskusteluissa esimieheni Tuomo Ahon kanssa ilmeni, että vuoden 2018 alkuvuodesta olisi Valmetilla tarve suorittaa raskaan rejektin erottelulaitteiden 3D-mallinnus sekä puuttuvien kokoluokkien lujuuslaskenta. Näin ollen opinnäytetyön aihe realisoitui aikataulullisesti. Työn tulotaisiin suorittamaan Valmetin Paperit- ja kartonki liiketoimintalinjan, massankäsittelyn tuotekehityksen toimeksiannosta. Opinnäytetyön ohjaajaksi yrityksen puolelta valikoitui tekninen tuotepäällikkö Ahti Alavataja, jonka alaisuuteen raskaan rejektin erottelulaite kuuluu.

5.1 Aiheen rajaus

Opinnäytetyön suunniteltiin kattavan koko tuoteperheen 2D-valmistuskuvien luonnin, parametriseen 3D-mallintamisen, lujuuslaskennan sekä osaluettelorakenteiden luomisen Valmetin PDM-järjestelmään.

Opinnäytetyön alkuperäisesti kaavailtua laajuutta rajoitti aikataulu sekä työn laajuus opinnäytetyö tarkoitukseen. Aiheen rajauksesta sovittiin tapaamisessa, johon osallistui opinnäytetyön ohjaaja lehtori Mikko Ukonaho Tampereen ammattikorkeakoululta ja Valmetilta opinnäytetyön vastaava Ahti Alavataja. Tapaamisessa sovittiin, että työstä karsitaan 2D-valmistuskuvien valmistaminen sekä osaluettelorakenteiden vienti Valmetin PDM-järjestelmään.

5.2 Työn aihe

Tehtävänäni oli luoda parametrisoidut 3D-mallit kaikista tuotteen kokoluokista sekä suorittaa tarvittavat lujuuslaskelmat Reject Separator (RS), RS 700 ja RS 1400 kokoluokan laitteille.

Valmetin OptiTrap Reject-tuoteperhe käsittää kokonaisuudessaan kolme eri kokoluokan raskaan rejektin erottelulaitetta. Työn tavoitteisiin kuului mitoillaan olevan parametrisoitu 3D-mallinnus. Mallinnus mahdollistaa tuoteperheen eri kokoluokkien generoinnin

sekä riittävien lujuuslaskelmien suorittamisen tuoteperheelle. Lujuuslaskelmien tavoitteena oli varmistaa erottelulaitteiden tukirakenteiden kesto, kun kuormituksena oli painekenttä (prosessipaine) ja nesteen aiheuttama painovoima. Tuoteperheen kokoluokasta RS 1000 oli jo Valmet entuudestaan suorittanut lujuuslaskennan. Kokoluokan laitteesta luotiin parametrinen 3D-malli, mutta olemassa olevaa lujuuslaskenta-analyysiä ei lähdetty laskemaan uudestaan kyseiselle kokoluokalle.

6 ESIVALMISTELU JA LÄHTÖTIETOIHIN PEREHTYMINEN

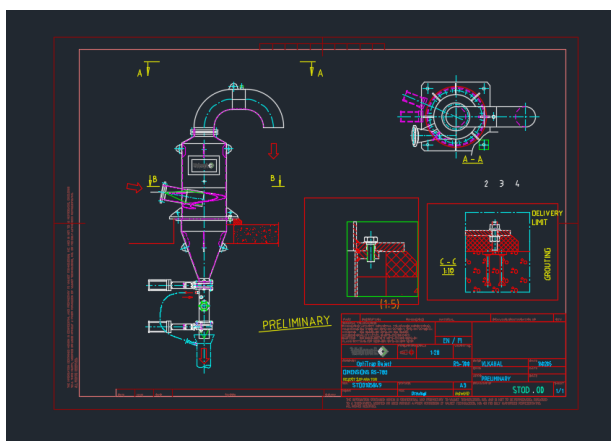
Työskentely-ympäristön luominen sekä lähtötietojen kerääminen edelsivät mallintamisen aloittamista. Työskentely-ympäristöllä tarkoitetaan mallinnusohjelmiston, tietokantojen, laitteiston ja tuotetietohallinnan muodostamaa kokonaisuutta. Tehokas työskentely mallinnusympäristössä vaatii, että ohjelmistot, tietokannat ja laitteet toimivat sujuvasti ja soveltuvat työn tarkoitukseen.

RS-erottelulaitteiden mallinnus ohjelmaksi valittiin Autodesk Inventor-suunnitteluohjelma, joka Valmetilla yleisesti käytössä yhdessä Catia V6 kanssa. FEM-analyysi toteutetaan ANSYS ohjelmalla, sillä Valmetilla on ohjelmalle tukipalvelu ja lisenssi. Ohjelmien valintaan vaikutti myös aikaisempi kokemukseni edellä mainituista ohjelmistoista.

Mallintaminen vaatii aina lähtötiedot. Suunnittelijan on hankittava mahdollisimman paljon tietoa mallinnettavasta tuotteesta. Mallintamisessa pystyin hyödyntämään Valmetin tuotetietojärjestelmää: Laitteiden 2D-kokoonpanokuvat, toimintaperiaate, tiedot laitteiden käyttöolosuhteista, työsuunnittelussa käytettävät standardit ja direktiivit.

6.1 Työn suunnittelu

Varsinainen työ aloitettiin tutustumalla parametriseen 3D-mallintamisen teoriaan ja miten se olisi toteutettavissa annetussa työssä. Laitteiden mallintamisen suunnittelu aloitettiin tutkimalla aluksi 2D kuvia RS-erottelulaitteiden kokoonpanoista (kuva 14). 2D-kokoonpanokuvia käytettiin apuna laitteiden mitoituksessa sekä myöhemmin parametriseen mallin luomis vaiheessa.



KUVA 14. RS 700 erottelulaitteen 2D kokoonpano kuvanto

Erottelulaitteiden suunnittelu ja myöhemmin valmistus tuli toteuttaa painelaitedirektiivin 2014/68/EU mukaisesti. Painelaitedirektiiviä laitteiden suunnittelussa käsitellään seuraavassa kappaleessa.

6.1.1 Painelaitedirektiivi, PED

Painelaitedirektiivi (Pressure Equipment Directive) tarkastelee paineesta aiheutuvia vaaroja ja koskee ensimmäistä markkinoille saattamista sekä painelaitteen käyttöönottoa Euroopan talousalueella (METS-TA 2006, 2)

Painelaitteella tarkoitetaan säiliötä, putkistoa tai muuta teknistä kokonaisuutta, jossa on ylipainetta tai siihen voi kehittyä ylipainetta. Painelaitteen tekniseksi osuudeksi luetaan myös kaikki painelaitteen suojaamiseksi tarkoitetut tekniset osuudet. (Painelaitelaki 1144/2016, 2 §.)

Painelaitteiden suunnittelun sekä valmistuksen lähtökohtana ovat säädöksissä määritellyt turvallisuusvaatimukset sekä vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt. Painelaitteiden suunnittelu alkaa luokittelulla. Luokittelun avulla selvitetään, mitä vaatimuksia on laitteiden suunnittelussa ja valmistuksessa otettava huomioon. Painelaitteiden luokitteluun vaikuttavat mm. painelaitteen tyyppi, painelaitteen ominaisuuksien sekä sisällön olemuoto. (Tukes 2017a)

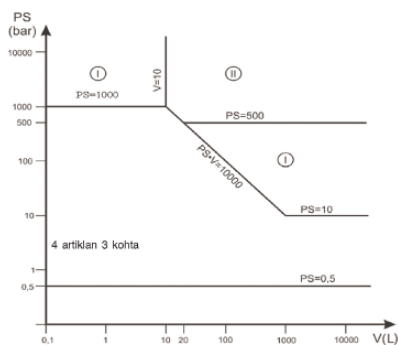
Painelaitedirektiiviä sovelletaan sellaisten painelaitteiden ja laitekokonaisuuksien suunnitteluun, valmistukseen ja vaatimustenmukaisuuden arviointiin, joiden suurin sallittu käyttöpaine on yli 0,5 bar (Painelaitedirektiivi 2014/68/EU, 8).

Painelaitedirektiiviä PED sovellettiin erottelulaitteiden suunnittelussa, koska laitteiden suurin sallittu käyttöpaine ylittää painelaitedirektiivissä määrätyn suurimman sallitun käyttöpaineen (taulukko 2.)

TAULUKKO 2. Laitteiden luokittelu painelaitedirektiivin 2014/68/EU mukaan.

LAITTEIDEN LUOKITTELU PAINELAITEDIREKTIIVIN PED 2014/68/EU MUKAAN									
Taulukon termien selitykset on esitetty taulukon lopussa									
LAITE	SISÄLTÖ	RYHMÄ	KÄYTTÖ- PAINES PS [bar]	TILAVUUS V [L]	LÄMPÖTILA TS [°C]	PS * V	TAU- LUK- KO	LUOK- KA	PAINES- LAITTEEN ARVIOINTI
Reject Separator									
RS-700	kuitumassa 0-6%	2	6	784	95	4704	4	4.3	HK
RS-1000	kuitumassa 0-6%	2	6	2291	95	13746	4	4.3	HK
RS-1400	kuitumassa 0-6%	2	6	6066	95	36396	4	4.3	HK

Laitteiden sisältö on nestefaasissa olevaa vettä ja paperimassaa ja koska lämpötila alittaa 111,4 ° C, käytetään laitteen paineluokkaan määrittämisessä painelaitedirektiivin taulukkoa 4, joka on esitetty kuvassa 15.



Taulukko 4

4 artiklan 1 kohdan a alakohdan ii alakohdan toisessa luettelakohdassa tarkoitetut säiliöt

KUVA 15. Painelaitedirektiivin 2014/68/EU 4. artiklan 3. kohdan mukainen laite (Painelaitedirektiivi 2014/68/EU taulukko 4, 218)

Painelaitedirektiivin mukaan käyttöpaine kerrottuna laitteiden tilavuudella ei saa ylittää 10 000 [bar/L]. Laitteiden suunnittelupaineen ollessa alle 10[bar] voidaan laite määrittää painelaitedirektiivin 2014/68/EU 4. artiklan 3. kohdan mukaiseksi ja sen suunnittelu sekä valmistus suoritetaan ”hyvän konepajakäytännön” mukaisesti.

Painelaitedirektiivi 2014/68/EU mukaan hyvä konepajakäytäntö tarkoittaa seuraavaa: 'Hyvä konepajakäytäntö' tarkoittaa, riippumatta artiklan 5 kohdasta 1, että painelaitteet suunnitellaan ottaen huomioon kaikki niiden turvallisuuteen vaikuttavat asiaankuuluvat tekijät. Lisäksi se tarkoittaa, että painelaite valmistetaan, tarkastetaan ja toimitetaan käyttöohjeineen, siten että sen turvallisuus on taattu aiotun käyttöajan ajan, kun sitä käytetään ennakoitavissa tai kohtuullisesti ennakoitavissa olosuhteissa. Valmistaja on vastuussa hyvän konepajakäytännön noudattamisesta. (Tukes 2017b)

6.1.2 RS-Erottelulaiteiden materiaalit

Rejektinerottimissa ja pyörrepuhdistimissa käytetään paperimassan koskettamissa osissa pääsääntöisesti austeniittista, haponkestävää terästä. Raskaan rejektin erottelulaiteiden materiaalina toimii EN 1.4404, joka sopii ominaisuuksiensa puolesta hyvin paperi- tai kartonkitehtaan olosuhteisiin. EN 1.4404 teräksellä on hyvä korroosionkesto, hyvä hit-

sattavuus, ei-magneettisuus, muokattavuus ja sitkeys. Haponkestävän teräksen miinuksena voidaan pitää sen heikompia lujuusominaisuuksia, tämän vuoksi osat ovat suunniteltava ja valmistettava paksummalla seinämävahvuudella.

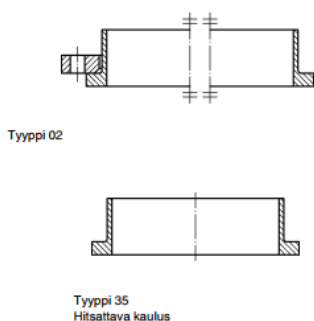
Erottelulaitteiden putkiliitosten irtolaipat ja putkikaulukset, jotka eivät ole suorassa kosketuksessa laitteiden sisällön kanssa voidaan valmistaa lujuusominaisuuksiltaan paremmasta teräksestä, kuten EN 1.0038. Laitteiden ympäristön olosuhteiden vuoksi irtolaipat on kuitenkin kuumasinkitty, niiden korroosion keston parantamiseksi. (Alavataja 2018)

Teräksien materiaaliominaisuuksia ja niiden huomioonottamista työssä käsitellään tarkemmin työn lujuuslaskenta kappaleessa 10.2 ANSYS-ohjelman materiaaliominaisuuksien määrittämien

6.1.3 Laippojen ja kaulusten valinta

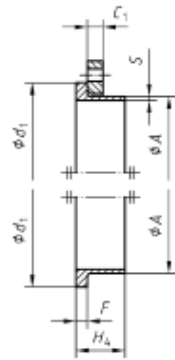
Raskaan rejektin erottelulaitteiden laippojen ja kaulusten valintaan ja mitoittamiseen käytettiin Suomen standardisoimisliiton standardia SFS-EN 19021. Standardissa määritellään mm. laippojen tyypit, tiivistyspinnat, mitat, toleranssit, ruuvien koon, laippojen liitospintojen pinnanvaatimukset.

Aluksi suoritettiin erottelulaitteiden laippojen ja kaulusten tyypin valinta. Standardi ilmoittaa tyypit paineluokan mukaisesti (PN= 10). Työssä käytettävien tyyppien valintaan vaikutti niiden valmistustapa sekä kestävyys (kuva 16).



KUVA 16. Standardin mukaiset työssä käytettävät laippa ja kaulus tyypit (SFS-EN 1092-1,36-38)

Erottelulaitteiden kaulukset ja laipat mitoitettiin käyttäen SFS-EN 19021-1 taulukoita 8. ja 12. apuna. Laippojen ja kauluksien mallintamiseen tarvittavat mitat tyypeille 02 ja 35 oli ilmoitettu standardissa (kuva 17). Näiden mittojen arvot luettiin standardin taulukosta 12.



Tyyppi 02 ja 35

KUVA 17. Laipan ja kauluksen tyyppi 02. ja 35. standardin mukainen mitoitus (SFS-EN 1092-1, 56)

Standardin taulukko 8. ilmoittaa laippojen tiivistyspintojen mitat halkaisijan ja nimellispaineen mukaan (kuva 18).

Taulukko 8 Laippojen tiivistyspintojen mitat

DN	dn	PN 2,5*	PN 6*	PN 10	PN 16	PN 25	PN 40	PN 63	PN 100	PN 160	PN 250	PN 320	PN 400	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	W ^b	x	y	z ^b	α =	R
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10	35	35	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	2	4,5	4,0	2,0	24	34	35	23	—	2,5
15	40	40	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45					29	39	40	28	—	
20	50	50	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58					36	50	51	35	41°	
25	60	60	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68					43	57	58	42		
32	70	70	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78					51	65	66	50		
40	80	80	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	3				61	75	76	60		
50	90	90	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102					73	87	88	72		
65	110	110	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122					95	109	110	94		
80	128	128	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138					106	120	121	105		
100	148	148	158	158	162	162	162	162	162	162	162	162	162					129	149	150	128		
125	178	178	188	188	188	188	188	188	188	188	188	188	188					155	175	176	154	32°	3
150	202	202	212	212	218	218	218	218	218	218	218	218	218					183	203	204	182		
200	258	258	268	268	278	285	285	285	285	285	285	285	285					239	259	260	238		
250	312	312	320	320	335	345	345	345	345	345	345	345	345					292	312	313	291		
300	365	365	370	378	395	410	410	410	410	—	—	—	—	4				343	363	364	342		
350	415	415	430	438	450	465	465	465	465	—	—	—	—					395	421	422	394	27°	3,5
400	465	465	482	490	505	535	535	535	535	—	—	—	—					447	473	474	446		
450	520	520	532	550	555	560	560	560	560	—	—	—	—					497	523	524	496		
500	570	570	585	610	615	615	615	615	615	—	—	—	—					549	575	576	548		
600	670	670	685	725	720	735	735	—	—	—	—	—	—	5				649	675	676	648		
700	775	775	800	795	820	840	840	—	—	—	—	—	—					751	777	778	750		
800	880	880	905	900	930	960	960	—	—	—	—	—	—					856	882	883	855		
900	980	980	1 005	1 000	1 030	1 070	1 070	—	—	—	—	—	—					961	987	988	960		
1 000	1 080	1 080	1 110	1 115	1 140	1 180	1 180	—	—	—	—	—	—					1 062	1 092	1 094	1 060	28°	4
1 200	1 280	1 295	1 330	1 330	1 350	1 380	1 380	—	—	—	—	—	—					1 262	1 292	1 294	1 260		
1 400	1 480	1 510	1 535	1 530	1 560	1 600	—	—	—	—	—	—	—					1 462	1 492	1 494	1 460		
1 600	1 690	1 710	1 760	1 750	1 780	1 815	—	—	—	—	—	—	—					1 662	1 692	1 694	1 660		
1 800	1 890	1 920	1 960	1 950	1 985	—	—	—	—	—	—	—	—					1 862	1 892	1 894	1 860		
2 000	2 090	2 125	2 170	2 150	2 210	—	—	—	—	—	—	—	—					2 062	2 092	2 094	2 060		
2 200	2 295	2 335	2 370	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	—	—
2 400	2 495	2 545	2 570	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	—	—
2 600	2 695	2 750	2 780	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	—	—
2 800	2 910	2 960	3 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	—	—
3 000	3 110	3 160	3 210	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	—	—
3 200	3 310	3 370	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	—	—
3 400	3 510	3 580	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	—	—
3 600	3 720	3 790	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	—	—
3 800	3 920	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	—	—
4 000	4 120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	—	—

* Kuvan 4 mukaisia tiivistyspintoja C, D, E, F, G ja H ei käytetä paineluokissa PN 2,5 ja 6.

^b Kuvan 4 mukaisia tiivistyspintoja G ja H käytetään vain paineluokissa PN 10...PN 40.

KUVA 18. Laippojen tiivistyspintojen mitat (SFS-EN 1092-1, 56)

Standardin taulukko 12. ilmoittaa laippojen ja kauluksien suunnitteluun tarvittavat muut mitat mm. laipan paksuus, ulkohalkaisija, ruuviympyrän halkaisija ja ruuvireiänhalkaisija sekä ruuvien lukumäärä ja koko (kuva 19). Mitta arvot ilmoitetaan laipan halkaisijan ja paineluokan mukaan muuttuvina.

Taulukko 12 Laippojen PN 10 mitat

Mitat millimetreinä																															
DN	Lähtömitat				Kauluksen ulkohalkaisija	Sisähalkaisija			Laipan paksuus					Visite	Kauluksen paksuus				Korokkeen halkaisija	Pituus					Kaulusosan tyrvähalkaisija				Taivasside	Seinämänpaksuus (ks. 5.6.1)	
	Ulko-	Ruuviympyrän halkaisija	Ruuvireiän halkaisija	Ruuvit		A	B ₁	B ₂	B ₃	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄		E	F	G _{max}	H ₁		H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	N ₁	N ₂	N ₃	R ₁	S			
Laipan tyyppi					11 21* 34 ^c 35...37	01 12 32	02	04	01 02 04 13	11 12 13	21	05	02 04	32 34	35 36 37	05	12 13	11 34 ^c	11 34 ^c	35 36 37	11 34 ^c	12 13	21	11 12 13 21, 34	34	11, 35...37					
10	90	60	14	4	M12	17,2	18,0	21	31	14	16	16	16	3	12	5	2	2,5	—	22	35	6	35	35	7	28	30	28	4	1,8	
15	95	65	14	4	M12	21,3	22,0	25	35	14	16	16	16	3	12	5	2	2,5	—	22	38	6	38	38	7	32	35	32	4	2,0	
20	105	75	14	4	M12	26,9	27,5	31	42	16	18	18	18	4	14	6	2,5	3	—	26	40	6	40	40	8	40	45	40	4	2,3	
25	115	85	14	4	M12	33,7	34,5	38	49	16	18	18	18	4	14	7	2,5	3	—	28	40	6	40	40	10	46	52	50	4	2,6	
32	140	100	18	4	M16	42,4	43,5	47	59	18	18	18	18	5	14	8	3	3	—	30	42	6	42	42	12	56	60	60	6	2,6	
40	150	110	18	4	M16	48,3	49,5	53	67	18	18	18	18	5	14	8	3	3	—	32	45	7	45	45	15	64	70	70	6	2,6	
50	165	125	18	4	M16	60,3	61,5	65	77	20	18	18	18	5	16	8	3	4	—	28	45	8	45	45	20	74	84	84	6	2,9	
65	185	145	18	8	M16	76,1	77,5	81	96	20	18	18	18	6	16	8	3	4	55	32	45	10	45	45	20	92	104	104	6	2,9	
80	200	160	18	8	M16	88,9	90,5	94	108	20	20	20	20	6	16	10	3	4	70	34	50	10	50	50	25	105	118	120	6	3,2	
100	220	180	18	8	M16	114,3	116,0	120	134	22	20	20	20	6	18	10	4	4	90	40	52	12	52	52	25	131	140	140	8	3,6	
125	250	210	18	8	M16	139,7	141,5	145	162	22	22	22	22	6	18	10	4	4	115	44	55	12	55	55	25	156	168	170	8	4,0	
150	285	240	22	8	M20	168,3	170,5	174	188	24	22	22	22	6	20	10	4	4	140	44	55	12	55	55	25	184	195	190	10	4,5	
200	340	295	22	8	M20	219,1	221,5	225	240	24	24	24	24	6	20	11	5	4	190	44	62	16	62	62	30	234	246	246	10	6,3	
250	395	350	22	12	M20	273,0	276,5	281	294	26	26	26	26	8	22	12	8	—	235	46	68	16	68	68	—	292	298	298	12	6,3	
300	445	400	22	12	M20	323,9	327,5	333	348	26	26	26	26	8	22	12	8	—	285	46	68	16	68	68	—	342	350	348	12	7,1	
350	505	460	22	16	M20	355,6	359,5	365	400	30	26	26	26	8	22	13	8	—	330	53	68	16	68	68	—	385	400	408	12	7,1	
400	565	515	26	16	M24	406,4	411,0	416	450	32	26	26	26	8	24	14	8	—	380	57	72	16	72	72	—	440	456	456	12	7,1	
450	615	565	26	20	M24	457,0	462,0	467	498	36	28	28	28	8	24	15	—	—	425	63	72	16	72	—	—	488	502	502	12	7,1	
500	670	620	26	20	M24	508,0	513,5	519	550	38	28	28	28	8	26	16	—	—	475	67	75	16	75	—	—	542	559	559	12	7,1	
600	780	725	30	20	M27	610,0	616,5	622	650	42	30	34	34	8	26	18	—	—	575	75	82	18	80	—	—	642	658	658	12	—	
700	895	840	30	24	M27	711,0	721	—	750	35	—	—	—	38	8	—	20	—	—	670	—	85	18	80	—	—	746	—	772	12	—
800	1 015	950	33	24	M30	813,0	824	—	866	38	—	—	—	48	8	—	20	—	—	770	—	96	18	90	—	—	850	—	876	12	—
900	1 115	1 050	33	28	M30	914,0	926	—	962	38	—	—	—	50	8	—	22	—	—	860	—	99	20	95	—	—	950	—	976	12	—
1 000	1 230	1 160	36	28	M33	1 016,0	1 028	—	1 070	44	—	—	—	54	8	—	24	—	—	960	—	105	20	95	—	—	1 052	—	1 080	16	—
1 200	1 455	1 380	39	32	M36	1 219,0	1 234	—	1 283	55	—	—	—	66	8	—	26	—	—	1 160	—	132	25	115	—	—	1 256	—	1 292	16	—
1 400	1 675	1 590	42	36	M39	1 422,0	—	—	—	65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	143	25	—	—	—	—	1 460	—	1 496	16	—
1 600	1 915	1 820	48	40	M45	1 626,0	—	—	—	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	159	25	—	—	—	—	1 666	—	1 712	16	—
1 800	2 115	2 020	48	44	M45	1 829,0	—	—	—	85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	175	30	—	—	—	—	1 868	—	1 910	16	—

KUVA 19. Laippojen mitat nimellispaineen ollessa PN = 10 (SFS-EN 1092-1, 80)

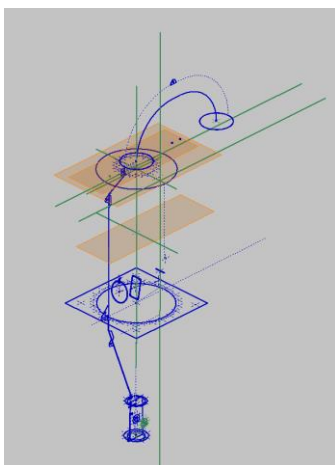
7 EROTTTELULAITTEIDEN MALLINTAMINEN

Tässä kappaleessa käsitellään mallintamiseen käytettyjä menetelmiä ja käsitteitä sekä erottelulaitteiden mallintamista osamallien ja kokoonpanon luonnin osalta AutoDesk Inventor- suunnitteluohjelmalla.

7.1 Erottelulaitteiden mallintamisen menetelmät

RS- erottelulaitteiden parametrinen malli päätettiin toteuttaa hyödyntäen niin sanottua Top-Down-menetelmää, jonka mukaisesti luotiin laitteille yhteinen skeleton- malli. Top-Down-menetelmässä luodaan luonnoksia, jotka ovat kiinnittyneinä toisiinsa. Näitä luonnoksia hyödyntäen voidaan luoda osia ja kokoonpanoja, joiden sijainnit, mitat sekä piirteet ovat sidottuna skeleton-malliin ja noudattavat sitä. Tämän ansiosta kokonaisuutta on mahdollista ohjata pelkästään skeleton- mallia muuttaen. (AUTODESK, 2017).

Laitteiden mallien luominen aloitettiin mallintamalla niille yhteinen skeleton- malli. Skeleton- malli, eli luurankomalli sisältää kaikki rakenteiden kolmiulotteiseen mallintamiseen tarvittavat mitat, tasot sekä koordinaatistot (kuva 20). Mallintaminen suoritettiin käyttäen Autodesk Inventor 2016- suunnitteluohjelmaa.



KUVA 20. Laitteille luotu luurankomalli

Luurankomallia luodessa pohdittiin, miten mallinnus olisi kannattavin toteuttaa mallille ja minkälaisia tapoja sen toteuttamiseen on. Mallista haluttiin luoda mahdollisimman yksinkertainen, sillä laitteiden kokoonpanot sisältävät suuren määrän graafista informaatiota

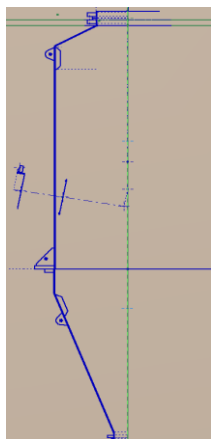
3D- mallien luomiseen. Luurankomallin kaikki mitat kerättiin Excel- tiedostoon parametrisointia varten, minkä avulla generoidaan tuoteperheen eri kokoluokkien 3D-mallit. RS-erottelulaitteiden mallin piirteet ovat samanlaiset eri kokoluokissa, ainoastaan mittasuhteet muuttuivat. Tämä helpotti hieman parametrinen mallien luomista, sillä piirteiden mittoja voitiin sitoa toisiinsa ja näin ollen vähentää Excel- tiedostoon määriteltävien parametrinen määritteiden lukumäärää. Top- Down- menetelmä yhdessä luurankomallin kanssa soveltui erinomaisesti erottelulaitteiden parametrinen runkorakenteen mallintamiseen.

7.2 Luurankomallin luonnin vaiheet

3D- mallinnus aloitetaan aina 2D- kuvasta, tätä kutsutaan yleisesti sketsiksi (Sketch). Kolmas ulottuvuus annetaan vasta myöhemmässä vaiheessa, kun laitteen osille luodaan kolmiulotteiset piirteet. Sketsi on luonnos halutun kappaleen profiilista tai muusta sivukuvannosta. Sketsaustilassa luodaan kaikki mallintamisessa tarvittava graafinen informaatio. 3D- sketsi on käytännössä katsoen samanlainen kuten normaali sketsi, mutta siinä viivoja on mahdollista piirtää kolmanteen ulottuvuuteen.

7.2.1 Geometrian luonti Inventorilla

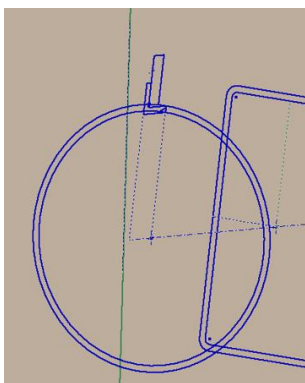
Luurankomallin geometrian luonti aloitettiin mallintamalla laitteiden kokoonpanon sivukuvannon peruspiirteet. Aluksi luotiin suuntaa-antava kaksiulotteinen sketsin luonnos kokoonpanolle vain sen muotoja noudattaen, tarkempi mitoitus tapahtui myöhemmin (kuva 21).



KUVA 21. Alustava 2D- sketsi

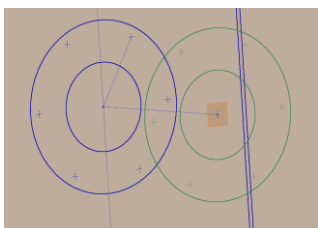
Sketsin malli pyrittiin piirtämään lähelle oikeita mittoja. Näin haluttiin välttää geometrian karkaamisen riskiä mallintaessa. Geometrian karkaaminen tarkoittaa tilannetta, jossa alkioon lisätty mitta, joka on pienempi tai suurempi kun alkion sen hetkinen mitta, muuttaa geometrian niin monimutkaiseksi, että sen palauttaminen muotoonsa olisi hankalaa tai jossain tapauksissa mahdotonta.

Geometria luotiin Inventorilla erilaisilla piirtokomennoilla, joita ovat viivat, ympyrät, monikulmiot, suorakaiteet, kaaret ja pisteet. Piirtokomentoja käyttäen luodaan piirregeometria, jonka avulla osien kolmiulotteiset piirteet luodaan. Sketsissä olevaa geometriaa voidaan myös muokata esimerkiksi leikkaamalla, jatkamalla sekä peilaamalla geometriaa. Sketsiä luodessa käytettiin myös konstruktio geometriaa piirregeometriaa luotaessa sekä mitoituksen apuna. Konstruktio geometriaa ei käytetä myöhemmässä vaiheessa itse piirteiden luomisessa ja se esitetäänkin sketsissä erillään, katkoviivoina (kuva 22).



KUVA 22. Konstruktio geometriaa käytettiin apuna mm. yhteen luomisessa

Joidenkin osien geometrian luonnissa käytettiin erillisiä työtasoja (work plane). Työtaso on parametrisesti määriteltävissä oleva 2D- taso. Työtasot voitiin sitoa parametrisesti kappaleisiin, vaikka geometriassa ei olisikaan tasopintaa. Työtasoja käytettiin luonnostasojen luomiseksi sekä aputasoina kappaleiden mallintamisessa (kuva 23).



KUVA 23. Työtaso apuna romuloukun mallintamisessa

7.2.2 Geometrisien ehtojen asettaminen

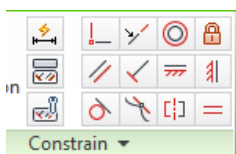
Geometriset ehdot (constrain) määrittävät luonnoksen osien suhteita toisiinsa sekä koordinaatistoon nähden. Ehtojen tarkoituksena on estää ei-toivottuja muutoksia geometrian piirteisiin, kun mitat muuttuvat tai geometriaa siirretään. Autodesk Inventor asettaa automaattisesti joitakin geometrisia ehtoja. Geometrisien ehtojen sekä mittojen avulla sketsi sidotaan paikalleen (kuva 24).



KUVA 24. Geometrisia ehtoja sketsissä

Geometria ehtojen sekä mitoituksen avulla luotiin erottelulaitteiden sketsistä täysin määrätty (Fully Constrained), jolloin sketsiin liittyvät mitat ja ehdot muodostavat kokonaisuuden, jossa sketsin muotoa voidaan muuttaa hallitusti mittojen muuttuessa. Kun sketsi on määrätty, se ei pääse liikkumaan vapaasti kolmiulotteisessa mallinnus avaruudessa. Tämä oli tärkeää tehdä tarkasti sillä, kun luurankomalliin generoidaan eri kokoluokan laitteen mitat, ei sketsi saa karata tai menettää muotoaan. Sketsi sidottiin y- akseliin siten, että y- akseli merkitsi kappaleen keskikohdan. Tämän avulla kokoonpano ei päässyt liikkumaan vapaasti sekä erottelulaitteiden säiliön mitat voitiin ilmoittaa osoittamalla mitta y- akselista säiliön reunaan. Tästä oli hyötyä myös myöhemmässä vaiheessa mm. laitteiden kokoonpanoa laadittaessa. Sketsin muuttuessa alimäärätystä tilasta täysin määrättyyn tilaan, sen väri muuttuu. Inventor ilmoittaa sidotun muodon tummansinisenä ja vapaan muodon vaaleansinisenä

Geometrisia ehtoja on Inventorissa monia, kuten esimerkiksi kohtisuora, yhdensuuntainen, tangentiaalinen, vaakasuora ja pystysuora (kuva 25). Työssä luurankomallin sketsiä luodessa käytettiin kaikkia edellä mainittuja ehtoja.



KUVA 25. Ehtomääritykset Inventorissa

7.2.3 Mitoittaminen

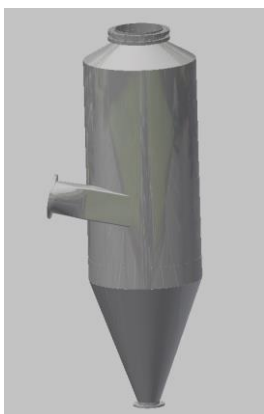
Laitteiden sketsin mitoittamisessa käytettiin apuna 2D-kokoonpanokuvia, mutta niistä ei kaikkia 3D- mallin luomiseen tarvittavia mittoja saatu. Geometrisien ehtojen lisäksi oikeanlaisella mitoituksella sketsi voidaan määrittää, jolloin se muodostaa toimivan kokonaisuuden. Mittojen lisääminen malliin tapahtui sketsauspaneelin General Dimension-valintaa käyttäen. Mittoja lisättiin osoittamalla mitoitettava alkio, jonka jälkeen paikka, johon mittaluku tulee. Kun mittaluvun paikka on ilmoitettu, Inventor kysyy haluttua mittalukua. Ympyrät sekä ympyrän kaaret mitoitettiin, joko niiden säteen tai halkaisijan mukaisesti. Kulma mitat Inventorissa mitoitettiin valitsemalla halutun kulman molemmat kyljet, jonka jälkeen näytettiin kulmamitan paikka

Mitat voidaan Inventorissa ilmaista numeerisina vakioina, muuttujina yhtälössä tai parametritiedostoissa. Työssä mitat annettiin aluksi yhden laitekokoluokan mitoilla, jonka jälkeen ne myöhemmässä vaiheessa vaihdettiin parametritiedoston mukaisiksi määritelmiksi. Tästä lisää opinnäytetyön parametrinen mallinnus osiossa.

7.2.4 Osamallien piirteiden luonti

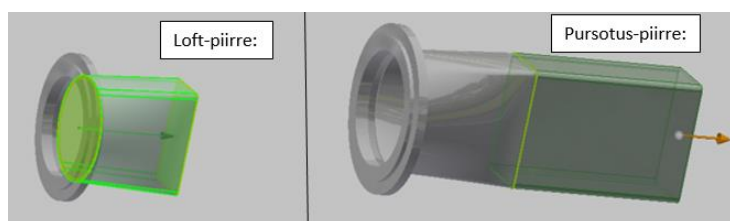
3D- osien piirteiden luonti voitiin aloittaa, kun laitteiden luonnos sketsi oli määritelty ja mitoitettu. Piirteiden avulla luodaan kappaleiden tai osien varsinaiset kolmiulotteiset muodot. Piirteet ovat myös parametrisia, joten mittoja voidaan muokata jälkeinpäin. Piirteitä voidaan luoda 3D- osaan profiloidun luonnoksen avulla tai suoraan ilman luonnosta. Ensimmäistä piirrettä kutsutaan yleisesti peruspiirteeksi ja muita piirteitä lisätään peruspiirteeseen. Tämä tarkoittaa sitä, että jos peruspiirre muuttuu kaikki siihen suhteessa olevat piirteet muuttuvat vastaavasti. Peruspiirteet luotiin laitteiden sketsin eli luonnoksen perusteella. Peruspiirteitä ovat mm. pursotus, pyörähdys, pyyhkäisy sekä pursotus useamman profiilin avulla.

Piirteet eli kolmiulotteiset mallin osat luotiin poistumalla ensiksi 2D-sketsaustilasta (Finish Sketch). Tämä jälkeen työkalupaneelistä voidaan valita osamallinnuksen työkalut. Ensimmäiseksi luotiin säiliön seinämät ja yhde (kuva 26).



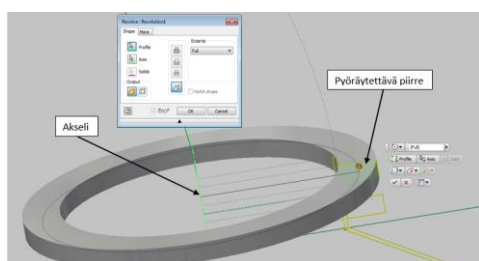
Kuva 26. Erottelulaitteiden säiliön sekä laippojen piirteiden luonti

Yhteen alkupää ja laippa ovat pyöreät, mutta säiliön sisälle menevä osa on profiililtaan suorakaiteen muotoinen. Erottelulaitteiden säiliön yhteen suorakaiteen muotoinen profiili luotiin siitä syystä, että yhteen kautta erottelulaitteelle pumpattavan massan partikkelit ohjautuisivat mahdollisimman hyvin säiliön reunoille. Osan piirrettä ei voitu muodostaa näin ollen pelkkää pursotusta käyttäen. Yhteen piirteet luotiin kahdessa eri osassa, johdettua sen muodosta. Pyöreä ja suorakulmainen profiili yhdistettiin toisiinsa käyttäen Loft-komentoa. Loft-komennolla pursotus tapahtuu, kun kaksi tai useampia eritasoilla sijaitsevaa sketsiä yhdistetään (kuva 27).



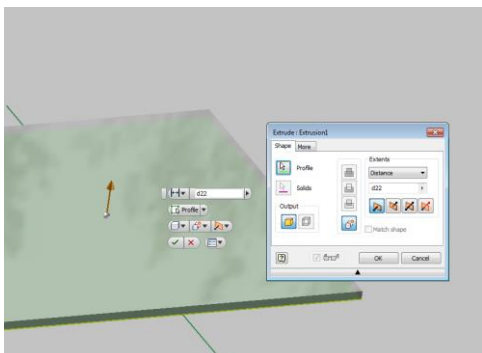
Kuva 27. Yhteen piirteiden muodostaminen Inventorilla

Säiliön sekä laippojen piirteiden luomiseen käytettiin pyörähdys-komentoa (Revolve). Pyörähdys-komento lisää piirteen, kun sketsiä piirrettä pyöräytetään halutun akselin ympäri (kuva 28).



KUVA 28. Laitteiden laipan piirteen luominen pyörähdys-komentoa käyttäen.

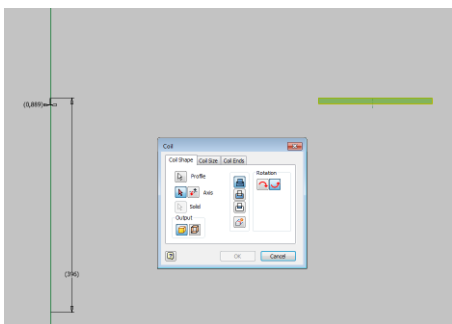
Pursotus- komentoa (Extrude) käyttämällä lisätään syvyyttä piirrettyyn 2D- muotoon. Pursotus on hyvin yleinen tapa luoda piirteitä 3D- malleja luodessa. Työssä pursotus- komentoa käytettiin esimerkiksi luomaan laitteiden kiinnityslevy (kuva 29).



KUVA 29. Laitteiden kiinnityslevyn pursotus

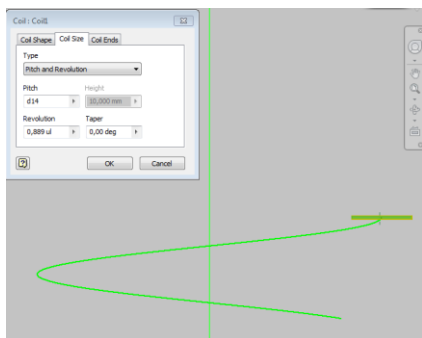
Laitteen sisäpuolella sijaitseva spiraalimuotoisen virranohjaimen piirteen luomiseen käytettiin jousi-komentoa (Coil). Jousi-komentoa käyttämällä voidaan mallintaa jousia tai kiertää profiilia akselinsa ympäri. Piirre muodostuu, kun haluttua sketsiä kuljetetaan niin sanottua kierrepolkua pitkin. Spiraalivirranohjain muodostettiin samalla periaatteella, kun jousen piirre valmistettaisiin.

Aluksi valitaan jousi-komento valikosta ja valitaan virranohjaimenprofiili ja näytetään akseli tässä tapauksessa y- akseli, jonka ympäri profiiliin halutaan kulkevan (kuva 30).



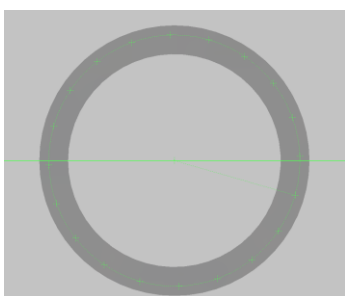
Kuva 30. Profiilin ja akselin valinta Coil- komentoa käytettäessä.

Tämän jälkeen määritetään vielä virranohjaimen koko Coil size välilehdestä, käyttäen sketsin mittoja. Pitch ilmoittaa profiilin nousun ja revolution kierroksien määrän (kuva 31).



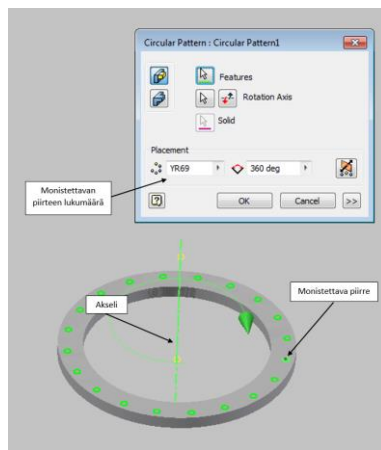
KUVA 31. Virranohjainprofiilin koon asettaminen Coil size välilehdellä

Osille luotiin myös muotopiirteitä (Feature). Muotopiirre- työkaluja käyttämällä mallia muokataan lisäämällä piirteitä suoraan osiin. Muotopiirteitä ovat esimerkiksi reiät, pyöristykset, viisteet ja kierteet. Työssä muotopiirteitä käytettiin mm. laippojen ruuvireikien ja romuloukun reikien sekä yhteen pyöristyksien teossa. Esimerkiksi laippojen ruuvireiät luotiin Circular Pattern-komentoa käyttämällä. Sketsaus osiossa oli rei'ille tehty sketch point-työkalulla paikoitus ja mitoitus (kuva 32).



KUVA 32. Laipan ruuvireikien paikoitus – ja mitoitus sketsi

Reikien paikkojen mitoituksen jälkeen, siirryttiin sketsaus tilasta takaisin muotopiirteiden luomiseen. Hole-komennolla mallinnettiin yksi laipan rei'istä, jonka piirrettä käytettiin apuna luomaan muut reiät käyttäen Circular Pattern-komentoa. Circular Pattern-komento toimii siten, että aluksi valitaan piirre, joka halutaan monistaa. Seuraavaksi näytetään akseli, jonka ympärille monistettava piirre halutaan luoda sekä ilmoitetaan, kuinka monta kertaa piirre monistetaan (kuva 33).



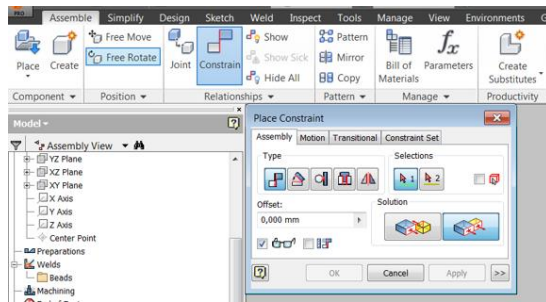
KUVA 33. Laipan ruuvireikien luominen Circular Pattern- komennolla

Työssä laippojen ruuvireikien lukumäärä määräytyi laippojen mitoituksessa käytetyn standardin SFS-EN 19021 mukaisesti, vaihdellen laitekoosta riippuen. Tästä johtuen ruuvireikien lukumäärä osoitettiin parametrisoitua mittaa käyttämällä, jolloin laippojen ruuvireikien lukumäärät muuttuvat erottelulaitteen kokoluokan vaihtuessa.

Laitteiden kokoonpanojen osat jaettiin erillisiksi osiksi samalla periaatteella, kuin ne olivat aikaisemmissa kaksikulotteisissa kokoonpano kuvissa. Tämä selkeyttää laitteen osien nimityksien luomista jatkossa ja niiden vientiä PDM-järjestelmään, niiden ollessa samat laitteiden 2D- kuvissa sekä 3D-mallissa. Kaikki osat tallennettiin erillisinä osatiedostoina, vaikka ne ovatkin sidottuna laitteiden luurankomalliin.

7.2.5 Kokoonpano

Osien luonnin jälkeen, lähdettiin tekemään RS- erottelulaitteiden pääkokoonpanoa. Pääkokoonpanolla tarkoitetaan tuotetta, joka sisältää kaikki tarvittavat osat. Yleensä osat kytetään toisiinsa staattisien ehtojen avulla. Näitä ehtoja ovat esimerkiksi Mate, Angle, Tangent ja Insert. Koska kaikki laitteiden osat mallinnettiin luurankomallia käyttäen, ei kokoonpanossa tarvinnut edellä mainittuja ehtoja osien välille asettaa. Osat asetettiin oikeille paikoilleen käyttämällä Flush- ehtoa. (kuva 34).



KUVA 34. Kokoonpanon luomisessa käytetty ehto

Flush- ominaisuutta käyttäen kaikki osat sidottiin yksikerrallaan näyttämällä niille kokoonpanon perustasot. Kun osalle osoitettiin sen YZ -, XZ-, XY- tasot, asettui se luurankomalli sketsissä mallinnetulle paikalleen (kuva 35).



KUVA 35. RS-700 laitteen pääkokoonpano

Laitteen pääkokoonpanosta saatiin luotua toimiva kokonaisuus, eikä kokoonpanossa ilmennyt päällekkäisyyksiä osien välillä.

8 PARAMETRINEN MALLI

Parametritaulukoita on mahdollista yhdistää Inventor malliin kahdella eri tavalla mm. liittäen taulukon suoraan osaksi mallia. Tässä tapauksessa taulukko tallentuu mallin mukana tai yhdistää sen erilliseen taulukkolaskentasovellukseen kuten Microsoft Excel tai OpenOffice. Parametrisuus helpottaa muutosten tekemistä kappaleeseen. Tämä käytännössä ottaen tarkoittaa sitä, että kappaleeseen kytkettyjä mittoja voidaan muuttaa missä tahansa vaiheessa niin, että kohteen geometria muuttuu vastaavasti.

Parametrisuus toteutettiin opinnäytetyössäni Excel-tilukkolaskentaohjelmalla. Excel-tiedostoon listattiin kaikkien erottelulaiteiden kokoluokkien mitat laitekohtaisesti. Laitekokoluokan mittoja muuttamalla parametritiedostossa 3D- mallin rakenne päivittyi automaattisesti Inventorissa. Jos 3D- malliin tarvitsee lisätä jälkikäteen uusia mittoja, onnistuu lisääminen määrittämällä Inventorin puolella kyseiset mitat parametreiksi ja luomalla Excel-tiedostoon niille vastineet.

AutoDesk Inventor kerää automaattisesti kaikki sille annetut mitat parametriluetteloon niiden luonti järjestyksen mukaan numeroituna. Mittoja on näin ollen helppo sitoa toisiinsa, koska niillä on kullakin omat nimet ja niiden muokkaaminen taulukossa tapahtuu vapaasti. Taulukossa on etäisyysmittojen lisäksi lueteltu myös kaikki astemitat sekä kappalemäärät, joita on käytetty eri piirteiden määrittämisessä.

8.1 Excel-tiedosto

Excel-tiedoston etuina ovat selkeys, muokattavuus sekä mahdollisuus rakentaa monimutkaisempia riippuvuussuhteita mitoille laskukaavojen avulla. Excel-tiedoston avulla pystyy nopeasti ja helposti generoimaan halutun erottelulaitteen kokoluokan 3D-mallin ja tarvittaessa muokkaamaan mittoja. Excel-tiedoston tarkoitus on ohjata parametrissa 3D-mallia niin, ettei mallia tarvitse enää suurelta osin muokata suunnitteluohjelmistossa.

Excel-tiedostoon kerättiin kaikkien erottelulaitteiden kokoonpanojen rakenteiden päämitat kuten halkaisija, ainevahvuus, korkeus, reikien määrät, asteet sekä tasojen etäisyydet toisistaan. Excel-tiedoston ulkoasusta tehtiin käyttäjälle mahdollisimman selkeä. RS-erottelulaitteiden kokoluokkien mukaan muuttuvat mitat havainnollistettiin erilaisin värein hahmottamisen selkeyttämiseksi. (Liite 1).

8.1.1 Mittaparametrien valinta ja nimeäminen

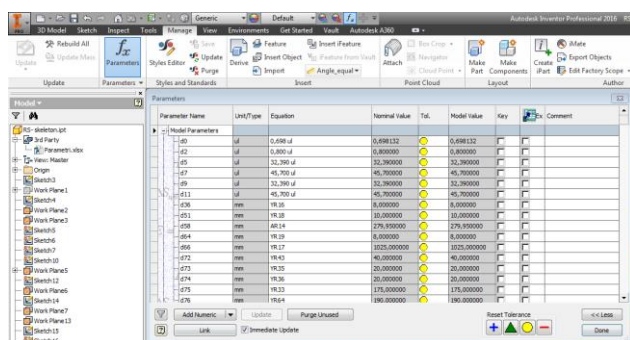
Aluksi etsittiin rakenteen mitat, jotka olivat suunnittelun vakioarvoja, kuten laitteen korkeus, leveys ja halkaisija. Turhia mittoja karsittiin sekä mittoja sidottiin toisistaan riippuvaisiksi mahdollisuuksien mukaan. Esimerkiksi joidenkin reikien piirteiden halkaisijamitat sidottiin toisiinsa niiden ollessa samat kyseisessä kokoluokassa. Näin pystyttiin karSIMAAN Excel-tiedostosta sellaisien piirteiden mittoja, jotka voitiin sitoa toisiinsa suunnitteluohjelmassa ja ohjaamaan tiedoston kautta yhtä mitta-arvoa muuttamalla. Excel-tiedostoon mittoja kertyi 185 kappaletta yhtä laite-kokoluokkaa kohden, joista 116 oli laitteen koon vaihtuessa muuttuvaa mitta. Mitoille annettiin lyhyt kuvaus niiden sijainnista tarkoituksena helpottamaan mitan määrittämistä Excel-tiedossa (kuva 36).

15	YR1	161,95 mm	d80, Kauluksen halkaisija
16	YR2	8 mm	d102, Kauluksen seinämän vahvuus
17	YR3	68 mm	d106, Kauluksen korkeus
18	YR4	60,55 mm	d93, Levytaipan leveys

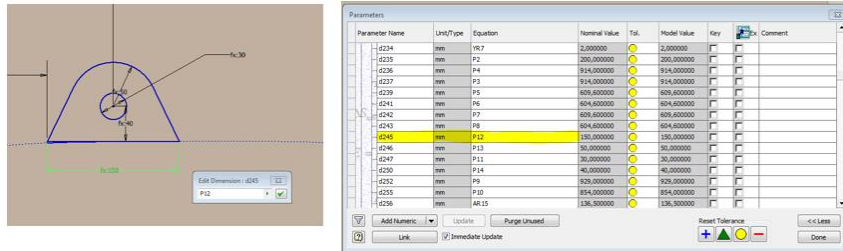
KUVA 36. Parametrien nimeämien

8.1.2 Mittojen sitominen parametri-taulukkoon

Excel-tiedosto voitiin sitoa laitteiden 3D-malliin, kun kaikkien kolmen eri laitekokoluokan mitat oli taulukoitu. Excel-tiedoston sitominen malliin tapahtui siten, että tiedosto siirrettiin ensiksi samaan kansioon, missä kokoonpanojen luurankomalli sijaitsee. Tämän jälkeen siirryttiin Inventorin puolelle ja avattiin laitteen luurankomallitiedosto. Inventorin parametri-ikkunan (Parameters) kautta kytketään Excel-tiedosto malliin valitsemalla valintaikkunasta linkitä (Link) (kuva 38).



Kun Excel-tiedosto oli sidottu malliin, kytkettiin muuttujat mallin mittoihin, muuttamalla sketsin mittojen tilalle Excel-tiedoston mittataulukon mukainen nimike. Esimerkkinä korvakkeen kannan leveyden muuttujan asettaminen (kuva 38).



KUVA 38. Korvakkeen kannakkeen mitan muuttaminen taulukon mukaisen muuttujan nimikkeellä.

Excel-tiedoston avulla voitiin generoida haluttu laitekokoluokka vaivattomasti. Generointi tapahtui kopioimalla halutun laitekokoluokan mitat Excel-tiedostosta ja vaihtamalla ne tiedoston etusivun taulukkoon ja tallentamalla tiedoston. Tallennus päivittää Inventoriin linkitetyn tiedoston ja rakenne päivittyy automaattisesti.

9 RAKENTEEN GEOMETRIAN OPTIMOINTI

Erottelulaitteiden geometrian optimointiin käytettiin ANSYS SpaceClaim direct modeler- ohjelmaa. Spaceclaim on monikäyttöinen 3D-mallinnusohjelma, joka tarjoaa erinomaisia työkaluja suoramallintamiseen ja se soveltuu hyvin käytettäväksi muiden ANSYS tuotteiden kanssa. Spaceclaim-ohjelmaan tuotiin RS-erottelulaitteiden alkupe- räiset CAD-mallit, jotka muokattiin ANSYS -laskentaan soveltuviksi

CAD -mallit suunnitellaan yleensä valmistusta ajatellen eikä niinkään rakenneanalyysijä varten. Mallit ovat yleensä geometrialtaan monimutkaisia ja ne voivat sisältää esimerkiksi mallinnettuja logoja ja paljon muita pieniä yksityiskohtia. Rakenne joka on geometrial- taan monimutkainen tai sisältää paljon pieniä yksityiskohtia on sen simulointi merkittä- västi raskaampi. Monimutkaiset ja yksityiskohtaiset geometriat lisäävät laskentakapasiteettia, jonka seurauksena laskenta-aika voi pidentyä huomattavasti.

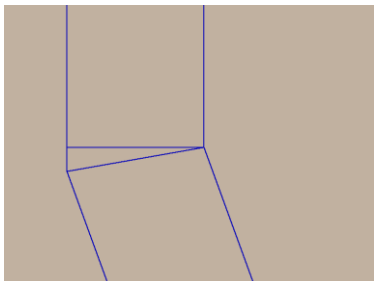
Erottelulaitteiden CAD- mallien geometrioiden muokkaamisella ANSYS- laskentaan so- veltuviksi, tarkoitetaan niiden geometrian yksinkertaistamista monimutkaisia piirteitä muokkaamalla, viallisen geometrian korjaamista tai piirteiden poistamista.

Aluksi suunniteltiin, että kokoonpanoista tehtäisiin pintamallit. Ideana pintamallien teke- misessä oli luoda mahdollisimman yksinkertainen ja kevyt rakenteesta ja näin ollen vä- hentää laskentakapasiteettia sekä siihen kuluvaan aikaan huomattavasti. Huomattiin, että joidenkin kokoonpanon osamallien pintamallin luominen oli erittäin hankalaa sekä aikaa vievää. Todettiin, että erottelulaitteiden kokoonpanot eivät ole niin suuria, ettei FEM- analyysia voisi suorittaa kokoonpanojen ollessa solidimalleja (tilavuusmalli). Laskenta- kapasiteetti ei kasvanut kohtuuttoman suureksi ja laskenta aika oli työhön nähden kestol- taan hyväksyttävä.

9.1 Mallien muokkaaminen SpaceClaim-ohjelmalla

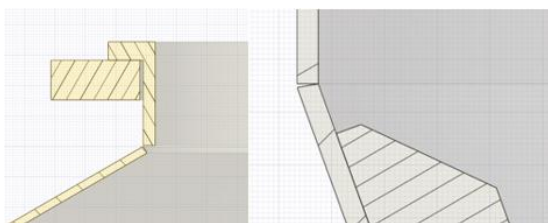
Kokoonpanojen mallitiedostot avattiin SpaceClaim-ohjelmassa, jossa laitteiden geomet- riaa lähdettiin muokkaamaan. Muokkauksen kohteita olivat esimerkiksi laskennan kan- nalta tarpeettomien osien poistaminen, tarpeettomat pyöristykset sekä geometrian kor- jaus.

Mallien geometriaa tutkimalla Spaceclaim-ohjelmalla todettiin rakenteen geometriassa muutama korjausta vaativa alue. Erottelulaitteiden säiliöiden yläpään kartio-osuuden seinämän ainevahvuus oli virheellinen. Virhe johtui Excel-tiedoston taulukkoon virheellisesti asetetusta mitasta. Inventorissa sketsatut liitospiirteet eivät siirtyneet SpaceClaim-mallin geometriaan, sillä niitä ei ollut asetettu minkään osamallin osaksi (kuva 39).



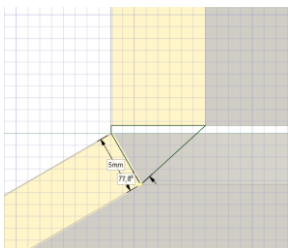
KUVA 39. Kokoonpanon seinämien liitoskohhta

Tästä johtuen molempien kartio-osien ja pystysuoran säiliön seinämän liitoskohtaan oli jäänyt pienet raot (kuva 40). Todellisuudessa säiliöitä valmistettaessa kyseisiä rakoja ei pääse syntymään, sille osat liitetään toisiinsa hitsaamalla. FEM- laskentaa varten nämä puutteelliseksi jääneet piirteet mallinnetaan osaksi kokoonpanoa, jotta se olisi tiivis.



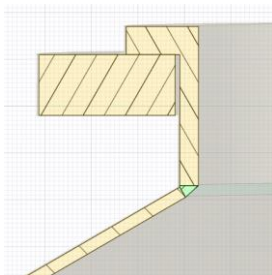
KUVA 40. Rakenteen geometrian puuttuvat alueet leikkaustilassa havainnollistettuna

Rakojen korjaus aloitettiin avaamalla leikkaustila (Section Mode), jossa solideja muokataan rakenteen poikkileikkaus näkymässä. Leikkaustilassa on myös mahdollista käyttää kaikkia sketsaus työkaluja muokatessa geometriaa. Rakojen paikalle piirrettiin sketsi, johon luodaan uusi liitospiirre (kuva 41).



KUVA 41. Yläpuolen kartio osuuden ja laipan kauluksen välin raon sketsi

Puuttuvat liitospiirteet luotiin veto-komentoa käyttäen. SpaceClaimin veto-komento toimii samalla periaatteella kuin Inventorin piirteiden luonti. Ohjelma luo liitospiirteen osoittamalla sketsatun muodon ja näyttämällä minkä akselin ympärille se haluttiin luoda. SpaceClaim luo uudet liitospiirteiden solidimallit sketsatuista piirteistä ja ne ilmestyvät laitteen kokoonpanon piirrepuuhun (kuva 42).



KUVA 42. Puuttuvan alueen solidi -rakenne

Syntyneet uudet liitospiirteiden solidimallit siirrettiin sen osan alle, jonka kanssa ne haluttiin yhdistää. Yhdistäminen tapahtui yhdistys-komentoa (Combine) käyttämällä, jolla liitospiirteet yhdistettiin niiden vieressä olevan osan solidirakenteeseen. Solidi- rakenteiden yhdistäminen tehtiin siksi, että kokoonpanoja olisi helpompi käsitellä niiden ollessa mahdollisimman yksinkertaiset ANSYS- ohjelmalla suoritettavaa analyysia varten.

10 FEM-ANALYYSI

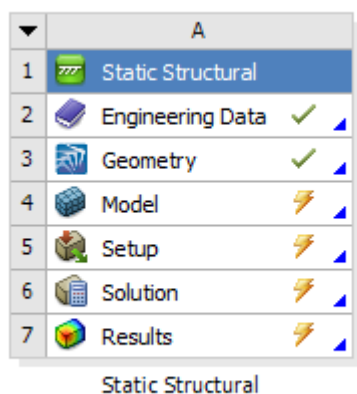
Opinnäytetyön FEM-laskentamalli päätettiin toteuttaa kaupallisella FEM-ohjelmalla ANSYS (Finite element method). FEM-laskentamallin toteutus muodostuu geometrian ja osien mallinnuksesta, osien liittämistä toisiinsa sekä ympäristöön liitos- ja reunaehdoja käyttäen sekä itse varsinaisesta laskennan suorittamisesta. Laskennasta saatujen tulosten tulkinta ja jatkokäsittely ovat tärkeä osa FEM- analyysiä.

10.1 ANSYS-simulointiohjelma

ANSYS on simulointiympäristö, jonka avulla käyttäjä voi mallintaa ja ratkaista monenlaisia teknisiä ongelmia elementtimenetelmän avulla. ANSYS käsittää erityyppisiä laskentoihin kykeneviä ohjelmia, esimerkiksi tasapainotilojen ratkaisuun tarkoitettu static structural- moduuli ja virtauslaskentaan tarkoitettu fluent- moduuli. Tämän työn kannalta keskeisin on static structural- moduuli, jota käyttäen erottelulaitteiden FEM-analyysi suoritettiin. (Xiaolin & Yijun 2014, 13-18)

FEM-laskentamalli päätettiin toteuttaa ANSYS- ohjelmalla. Tuoteperheen yhden erottelulaitteen lujuuslaskenta oli suoritettu entuudestaan ANSYS-ohjelmaa käyttäen. Näin ollen oli luonnollista toteuttaa muidenkin laitteiden laskenta samalla ohjelmalla. ANSYS on käytössä Valmetilla teknillisessä laskennassa ja sen vakiintunut käyttö yrityksessä takasi tarvittavien laskentalisenssien löytymisen.

ANSYS- käyttöliittymä koostuu soluista, jotka kuvaavat laskentamoduuleja tai komponentteja. Työssä käytettävä laskentamoduulin rakenne on yksinkertainen ja se koostuu yhdestä staattisesta rakenneanalyyysistä (static structural). Kyseinen laskentamoduuli käsittää materiaali ominaisuudet, geometrian, mallin, määrittelyn, ratkaisun sekä tulosten arvioinnin (kuva 43).



KUVA 43. Staattinen rakenneanalyysi ANSYS workbench- näkymässä

Staattinen rakenneanalyysi määrittelee rakenteiden kuormitukset siirtymien, jännityksien, venymien ja voimien avulla. Se voi olla lineaarinen ja epälineaarinen. Epälineaarisuudet, kuten suuret muodonmuutokset, plastisuus ja venymät ovat sallittuja.

10.2 ANSYS-ohjelman materiaaliominaisuuksien määrittäminen

FEM-analyysia varten materiaaleille tuli määrittää tiettyjä lujuusominaisuuksia. Työssä RS-erottelulaitteiden molempien materiaalien lujuusominaisuuksien määrittämisessä käytettiin Suomen standardisoimisliiton standardeja.

Työssä käytetyt irtolaipat ja putkikaulukset ovat standardin EN 1092-1 mukaisia valmiina hankittavia kaupallisia nimikkeitä, jolloin niiden valmistaja vastaa niiden lujuudesta sekä paineenkestosta valitussa paineluokassa. Tästä johtuen analyysissä, ei suoritettu laskelmia laippojen ja kauluksien keston osalta.

RS-erottelulaitteiden päämateriaalina käytetään austeniittistä terästä EN 1.4404. Kyseisen teräksen materiaaliominaisuudet määritettiin käyttäen standardia SFS-EN 10028-7 ja SFS-EN 10088-2. Koska erottelulaitteiden suunnittelulämpötila on 95°C, tuli materiaalien lujuusominaisuuksia tutkia korotetuissa lämpötiloissa. Standardin EN 10028-7 taulukko 15 ilmoittaa austeniittisten teräksien murtolujuuden (R_m) vähimmäisarvot korotetuissa lämpötiloissa (liite 2). Myötölujuuden määrittämiseen materiaalille sovellettiin standardia EN 13445-3, joka koskee teräksestä valmistettujen, lämmittämättömien painesäiliöiden suunnittelua. Standardin mukaan austeniittisellä teräksellä, jonka materiaalin

$A_5 \geq 35\%$, jossa A_5 tarkoitetaan murtovenymän prosenttilukua, käytetään myötölujuuden määrittämiseen 1% - venymisrajaa (kuva 44).

Taulukko B.8-2 R_m ja f_k normaaleille käyttötilanteille		
Materiaali	R_m	f_k
Ferriittinen ¹ teräs	R_{mH} tai $R_{p0,2T}$	$1,25 \text{ jos } \frac{R_{p0,2T}}{R_{m20}} \leq 0,8$ $1,5625 \left(\frac{R_{p0,2T}}{R_{m20}} \right)$ muutoin
Austenittinen teräs (30 % $\leq A_5 < 35$ %)	$R_{p1,0T}$	1,25
Austenittinen teräs ($A_5 \geq 35$ %)	$R_{p1,0T}$ (ks. HUOM.)	$1,0 \text{ jos } \frac{R_{p1,0T}}{R_{mT}} \leq 0,4$ $\frac{2,5R_{p1,0T}}{R_{mT}} \text{ jos } 0,4 < \frac{R_{p1,0T}}{R_{mT}} \leq 0,5$ $1,25 \text{ jos } \frac{R_{p1,0T}}{R_{mT}} > 0,5$
Teräsvalut	$R_{p0,2T}$	$19/12 \text{ jos } \frac{R_{p0,2T}}{R_{m20}} \leq 19/24$ $\frac{2R_{p0,2T}}{R_{m20}}$ muutoin

¹ Muut kuin austenittiset teräset kohtien 6.4 ja 6.5 mukaisesti.

KUVA 44. SFS- EN 13445-3 taulukko B.8-2 (SFS EN 13445-3, 586)

Standardin SFS-EN 1.0088-2 taulukko 15 ilmoittaa EN 1.4404 teräksen 1% - venymisrajan vähimmäisarvot korotetuissa lämpötiloissa (liite 3.)

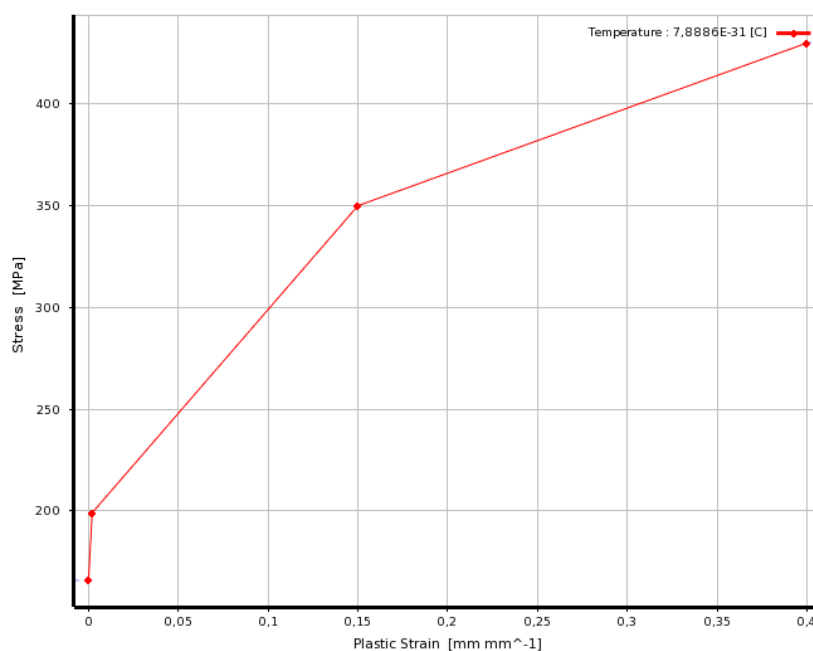
RS-erottelulaitteiden kiinnityslevy valmistetaan irtolaippojen ja putkikauluksien tapaan EN 1.0038 teräksestä. Työssä tutkitaan laitteiden tilavuuspainon vaikutusta kiinnityslevyn kestävyyskykyisessä kuormitus tapauksessa. EN 1.0038 rakenneteräs on lujuusominaisuuksiltaan parempi kuin erottelulaitteiden muu materiaali. EN 1.0038 rakenneteräksen lujuusominaisuudet määritettiin kiinnityslevyn ainevahvuuden mukaisesti käyttäen standardia SFS-EN 10025-2 (liite 4.)

Static structural- analyysin Engineering data- moduulissa voidaan muokata ja luoda uusia materiaaleja ja määrittää laskentaan valittujen materiaalin lujuusominaisuuksia. Erottelulaitteiden materiaalit luotiin ja niille asetettiin standardien mukaiset lujuusarvot taulukon 3. mukaan.

TAULUKKO 3. FEM-laskennassa käytetyt lujuusarvot

Materiaali:	Murtolujuus/ R_m	Myötölujuus/ R_{eH}/R_p 1 %
EN 1.4404	430 MPa	199 MPa
EN 1.0038	360 MPa	225 MPa

RS-erottelulaitteiden mallien plastisuuden analysoimiseen käytettiin multilineaarista kinemaattista lujittumis plastisuusmallia (Multilinear Kinematic Hardening). Tämä plastisuusmalli simuloi metallin plastista käyttäytymistä kuormituksessa. Materiaalien jännitykset ja niiden plastiset muodonmuutos arvot asetettiin Multilinear Kinematic Hardening- ominaisuustaulukkoon. Taulukko antaa materiaaleille jännitys-venymäkäyrän (kuvio 1).



KUVIO 1. Jännitys-venymä käyrä

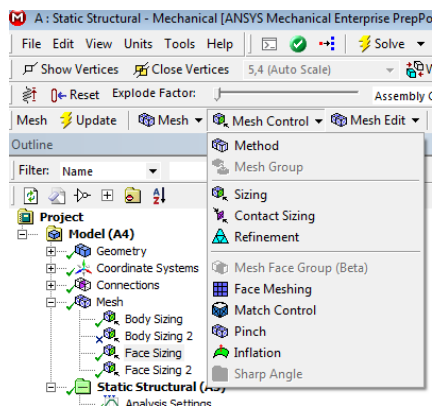
10.3 Rakenteen elementtiverkko

Elementtimenetelmän käyttämisen lähtökohtana on rakenteen verkottaminen (meshing). Verkottamisprosessin tuloksena muodostettu elementtiverkko jakaa komponentit elementteihin laskentaa varten. ANSYS-ohjelmalla elementtiverkon luonti onnistuu automaattisesti. Käytännössä käyttäjän tulisi ottaa huomioon joitakin mallin toiminnan kannalta keskeisiä, verkotukseen liittyviä seikkoja mm. elementtien koko, tyyppi, lukumäärä sekä verkon laatu. Työssä Erottelulaitteiden komponentit verkotetaan kolmiulotteisina kappaleina.

Toimivan verkon luonti onnistuu lähes aina asettamalla elementtien koko tarpeeksi pieneksi. Elementtien koon asettaminen pieneksi kuitenkin kasvattaa mallin elementtien kokonaismäärää huomattavasti, minkä seurauksena laskenta ajat voivat kasvaa pitkiä.

Työssä yksi analyysin kriteereistä oli laskenta-aika, eikä näin ollen elementtiverkkoa voitu tihentää kohtuuttomasti ilman negatiivisia vaikutuksia. Toimiva malli pyrittiin saavuttamaan mahdollisimman suurella elementtikoolla kuin mahdollista, jolloin elementtien kokonaislukumäärä pysyi pienenä.

Verkotus luotiin malleille aluksi automaattista verkotuksen luontia käyttäen. Tämän jälkeen elementtiverkkoa optimoitiin tarkemmin mallin alueilla, jotka koettiin analyysin kannalta kriittisiksi ja olivat suuren kuormituksen alaisena ja joista haluttiin tarkempia tuloksia. Alueita olivat esimerkiksi mallin yhde ja laitteiden säiliön yläkartion alue. Näissä alueissa odotettiin olevan suurimmat paineen vaikutuksesta johtuvat jännitysalueet rakenteelle. Verkotuksen muokkaamiseen on ANSYS-ohjelmassa useita eri asetuksia (kuva 45).



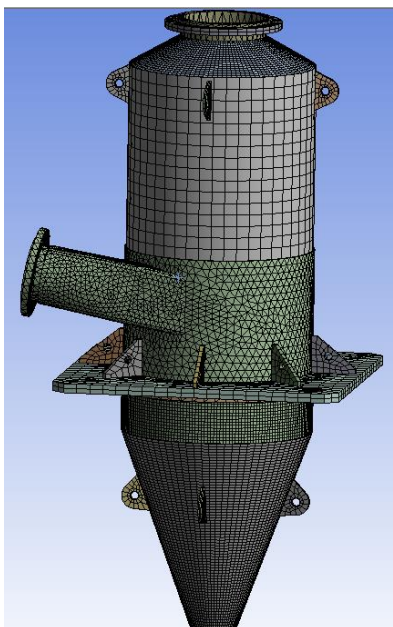
KUVA 45. Mesh Control -työkalut

Työssä käytettiin Sizing -asetusta sekä sen ala-asetuksia. Yhteen verkotusta tarkennettiin face meshing-ominaisuudella. Face meshing-ominaisuutta käyttämällä voidaan luoda vapaa tai kartoitettu verkko valitulle pinnalle. Tarkennuksessa määritellään ensiksi ne mallin pinnat, joissa mallin tarkennusta halutaan käyttää. Tämän jälkeen Element Sizellä määritetään elementtien koko kyseisille pinnoille (kuva 46).

Details of "Face Sizing" - Sizing	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	32 Faces
Definition	
Suppressed	No
Type	Element Size
Element Size	20,0 mm
Advanced	
Defeature Size	Default
Behavior	Soft

KUVA 46. Face Sizing- asetukset

Tarkennus voidaan luoda myös osakokonaisuuksille, käyttäen Body Sizing-ominaisuutta. Tarkennus tapahtuu tällöin näyttämällä osa tai osakokonaisuuden body eli rakenne, jolle verkotusta lähdetään tarkentamaan. Työssä Body Sizing- ominaisuutta käytettiin laitteiden kiinnityslevyn sekä säiliön seinämien elementtiverkon luomisessa. Tuloksena saatiin luotua kuvan 47 mukainen toimiva elementtiverkko molemmille laitteille.



KUVA 47. RS 1400 kokoluokan FEM- mallin elementtiverkko

Laitteen RS 1400 kokoonpanon elementtiverkon määrittämisen jälkeen päädyttiin 54704 elementtiin ja noin 144000 solmuun. RS 700 kokoluokan elementtiverkko koostui 32048 elementistä ja noin 121000 solmusta. Molempien mallien laskenta aika alle 10 minuuttia ja sen katsottiin olevan hyväksyttävä.

10.4 Kontaktit

Laskentamallien kokoonpanot koostuvat useasta eri osasta. Osien välille on luotava kontaktit, jotta laskenta on mahdollista suorittaa. Mallin rakenteen sisäiset voimat siirtyvät osilta toisille kontaktien välityksellä.

ANSYS-ohjelma luo bonded kontaktin automaattisesti rakenteen osien kontaktipintojen välille, joka tarkoittaa, että osien välinen rajapinta on kiinteästi sidottu toisiinsa. Mallien kontaktipintoja tarkasteltiin luomalla contact tool, jonka avulla luotiin alustavat kontaktipintojen tulokset. ANSYS-ohjelma ilmoittaa väreillä kontaktipintojen tilan mallissa (kuva 48).

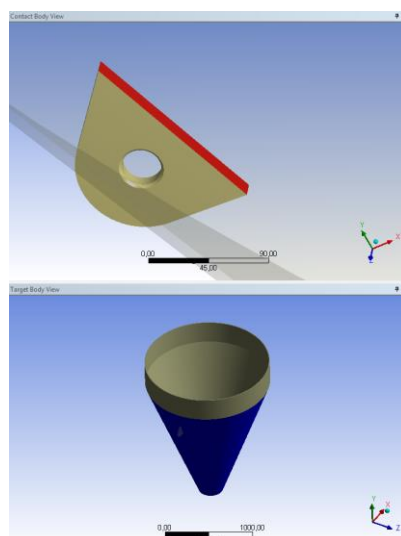
Initial Information										
For additional options, please visit the context menu for this table (right mouse button)										
Name	Contact Side	Type	Status	Number Contacting	Penetration (mm)	Gap (mm)	Geometric Penetration (mm)	Geometric Gap (mm)	Resulting Pinball (mm)	Real Constant
Contact Region	Contact	Bonded	Closed	294	2,2552e-013	0	2,689e-005	3,6647e-005	1,2566	40
Contact Region	Target	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	41
Contact Region 2	Contact	Bonded	Closed	294	0	0	2,2737e-013	2,2737e-013	1,7987	42
Contact Region 2	Target	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	43
Contact Region 3	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	44
Contact Region 3	Target	Bonded	Closed	11	0	0	7,6192e-003	0	3,8013	45
Contact Region 4	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	46
Contact Region 4	Target	Bonded	Closed	11	0	0	7,6193e-003	0	3,8013	47
Contact Region 5	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	48
Contact Region 5	Target	Bonded	Closed	11	0	0	7,6193e-003	0	3,8013	49
Contact Region 6	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	50
Contact Region 6	Target	Bonded	Closed	11	0	0	7,6192e-003	0	3,8026	51
Contact Region 7	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	52
Contact Region 7	Target	Bonded	Closed	21	0	0	0,27393	3,6939	53	53
Contact Region 8	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	54
Contact Region 8	Target	Bonded	Closed	21	0	0	0,27393	3,7804	55	55
Contact Region 9	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	56
Contact Region 9	Target	Bonded	Closed	21	0	0	0,27393	3,6976	57	57
Contact Region 10	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	58
Contact Region 10	Target	Bonded	Closed	21	0	0	0,27393	3,7802	59	59
Contact Region 11	Contact	Bonded	Closed	96	8,6264e-014	0	5,8963e-004	1,1286e-004	2,7963	60
Contact Region 11	Target	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	61
Contact Region 12	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	62
Contact Region 12	Target	Bonded	Closed	5	1,2058e-013	0	2,9556e-002	7,0848	63	63
Contact Region 13	Contact	Bonded	Inactive	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	64

Color Legend

Red	The contact status is open but the type of contact is meant to be closed. This applies to bonded and no separation contact types.
Yellow	The contact status is open. This may be acceptable.
Orange	The contact status is closed but has a large amount of gap or penetration. Check penetration and gap compared to pinball and depth.
Gray	Contact is inactive. This can occur for MPC and Normal Lagrange formulations. It can also occur for auto asymmetric behavior.

KUVA 48. Alustavat kontaktitulokset

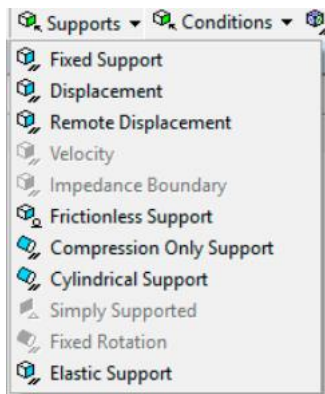
Kontaktituloksista huomattiin, että automaattisesti luodut kontaktipinnat olivat osittain virheelliset sekä joidenkin osien välillä oli syntynyt ylimääräisiä tarpeettomia kontaktipintoja. Tarpeettomat kontaktipinnat poistettiin manuaalisesti ja virheelliset kontaktipinnat korjattiin asettamalla niiden kontaktipinnat (contact) ja vastinpinnat (target) vastaamaan mallien kokoonpanon osien välisiä rajapintoja (kuva 49).



KUVA 49. Säiliön seinämän ja korvakkeen välinen kontaktipintojen tarkastelu

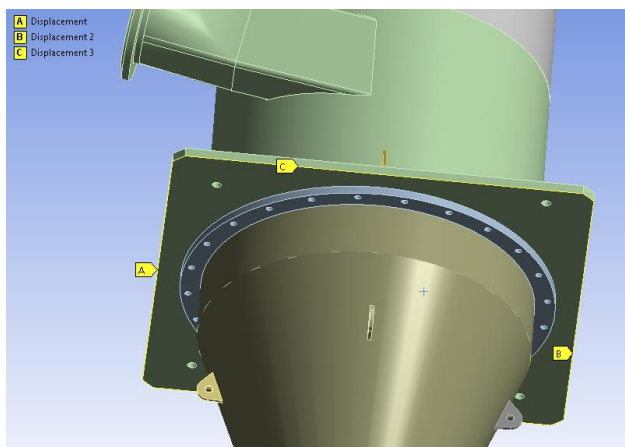
10.5 Reunaehdot ja kuormitukset

Rakenne on aina tuettava elementtimallissa jollain tapaa, jotta se ei pääse liikkumaan, koska siihen vaikuttavat rakenteelle asetetut kuormitukset. Tukilaitteet kuvataan elementtimallissa reunaehdoilla, jotka asetetaan kuvaamaan todellista tilannetta mahdollisimman hyvin. ANSYS-ohjelmassa on useita erilaisia tuentaehdoja eri tilanteita varten (kuva 50). FEM- laskennassa saatujen virheellisten tuloksien syynä on monesti reunaehtojen puutteellinen tai väärä määrittäminen.



KUVA 50. ANSYS tuentaehdot

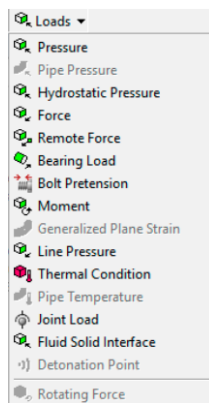
RS-erottelulaitteiden tuenta asetettiin kiinnityslevyjen reunoille, joista erottelulaite kiinnitetään asennusvaiheessa. Mallin liikkuminen estettiin käyttämällä Displacement-tuenta (kuva 51).



KUVA 51. Mallin tuenta

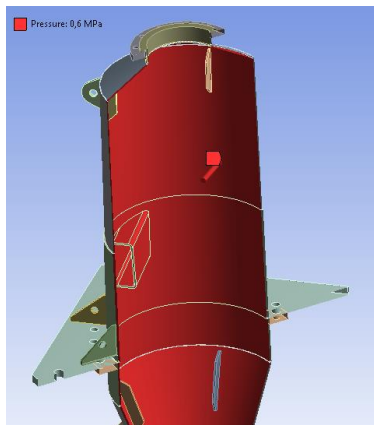
Displacement -tuennalla voidaan muodostaa mallin rakenteeseen pakkosiirtymä tai rajoittaa valitun osan siirtymä nollassi. Tuenta myös estää mallin rotaation siihen suuntaan, jonka siirtymä on määritetty nollassi. Työssä haluttiin selvittää laitteen painon vaikutuksesta syntyvä rasitus kiinnityslevylle, sen ollessa täynnä nestettä. Tällöin kiinnityslevyn reunojen liikkuminen estettiin määrittämällä X-, Y-, ja Z – vapausasteiden viivasiirtymät nolnaan käyttäen kolmea erillistä displacement- komentoa.

Mallin tuennan määrittämisen jälkeen elementtimalliin lisätään kuormitukset. Kuormitukset voidaan lisätä viiva-, solmu-, tai pintakuormina elementeille tai solmupisteisiin. ANSYS-ohjelmassa on saatavilla kuormitustapauksia useisiin eri tilanteisiin (kuva 52).



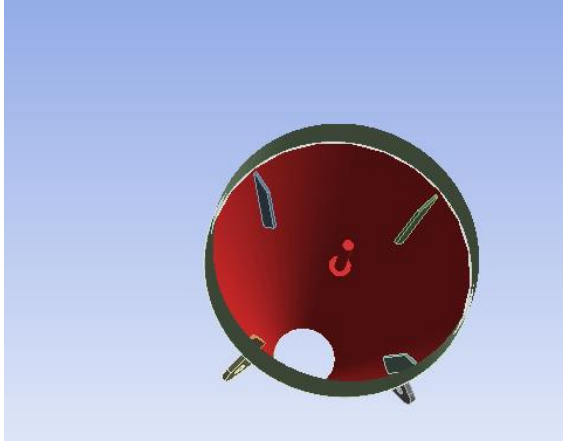
KUVA 52. ANSYS kuormitustapauksia

Erottelulaitteiden painekenttä (prosessipaine) määritettiin rakenteelle pressure- kuormituksena. Paineenkuormitus asetettiin näyttämällä laitteiden säiliön ja yhteen sisäpinnat sekä määrittämällä haluttu paineen suuruus (kuva 53).



KUVA 53. Paineenkuormituksen asettaminen

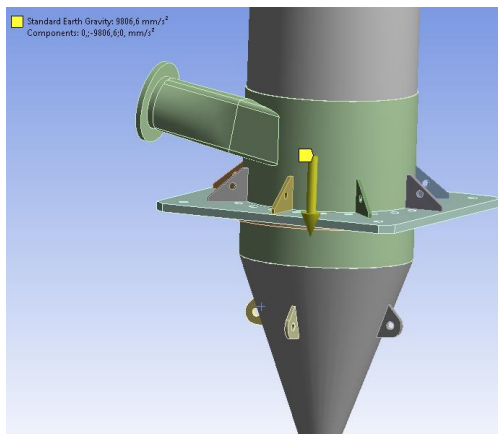
Kiinnityslevyn ainevahvuuden riittävyyden tutkimiseksi asetettiin remote force- kuormitus rejekti kartion sisäpinnoille. Remote force- kuormituksella pyrittiin kuvastamaan erottelulaitteen rejekti kartion tilavuuspainon aiheuttamaa kuormitusta laitteen kiinnityslevyyn (kuva 54).



KUVA 54. Kiinnityslevyn kuormitus

Kuormituksen suuruus laskettiin rejekti kartion tilavuuden avulla molemmille laite kokoluokille erikseen (liite 5).

Viimeiseksi laskentamallin kuormaksi asetettiin maan vetovoima, joka toimii myös yhtenä mallin reunaehtona. Maan vetovoiman vaikutus malliin lisätään käyttäen Standard Earth Gravity-työkalua. Kyseinen reunaehto simuloi painovoiman vaikutuksia malliin ulkoisen voiman muodossa ja aiheuttaa mallin liikkeen painovoiman suuntaan. Painovoiman asema mallissa määritettiin koordinaatiston avulla ja suunta Y-akselia käyttäen (kuva 55). Työssä maan kiihtyvyydentän arvona käytettiin $9806,6 \text{ mm/s}^2$.



KUVA 55. Maan painovoiman vaikutuksen asettaminen laskentamallille

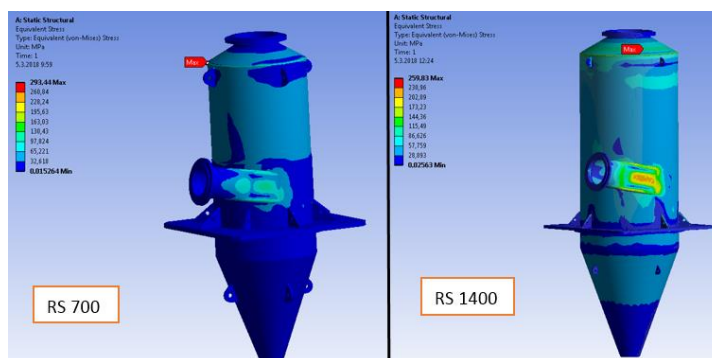
11 Tulokset

Tässä luvussa tarkastellaan FEM-laskennasta saatuja tuloksia RS- erottelulaitteiden malleille. Tuloksia käsitellään myös standardien määräämällä tavalla.

Molemmille RS- erottelulaitteiden FEM-malleille onnistuttiin luomaan toimiva ja siisti elementtiverkko.

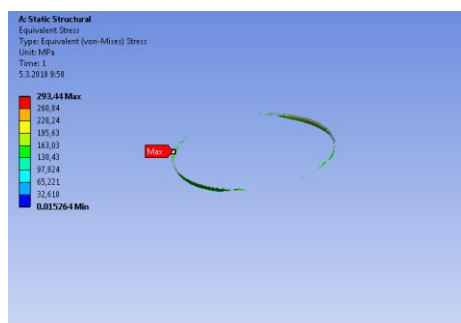
11.1 Jännitykset

RS- erottelulaitteiden maksimijännitys (Equivalent Stress) ANSYS-ohjelma mukaan sijaitsee mallien yläkartion ja säiliön liitoskohdassa (kuva 56). Tämä johtuu mallien geometria virheestä osien liitoskohdassa.



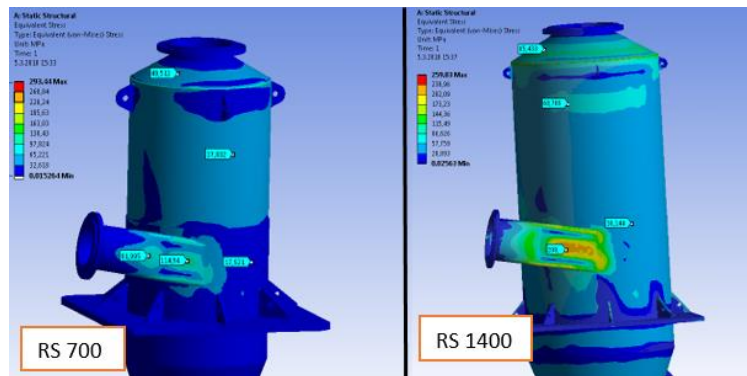
KUVA 56. RS 700 ja RS 1400 maksimijännitykset painekuormituksen ollessa 0,6 MPa

Todellisuudessa mallien geometria on erilainen liitoskohdassa hitsaussauman ansiosta, eivätkä jännitykset kasaannu alueelle samalla tavalla kuin FEM-mallissa. Maksimijännityksen jännityshuippu ilmenee liitoskohdassa pistejännityksenä (kuva 57).



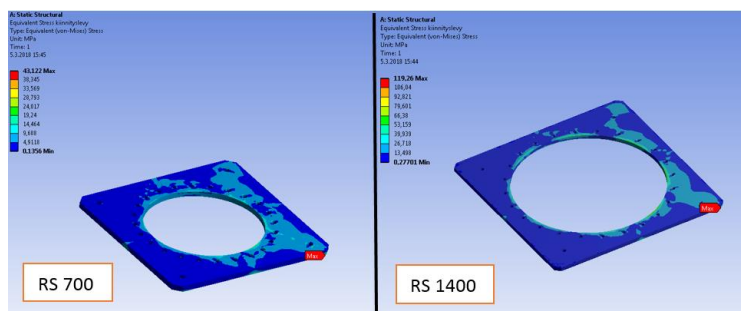
KUVA 57. RS 700 liitoskohdan maksimijännitys havainnollistettuna

Molempien erottelulaitteiden osalta voidaan todeta kuormituksesta aiheutuvan maksimijännityksen olevan todellisuudessa pienempi ja sen sijainnin olevan laitteiden yhteen ulkoseinämällä. Kuvassa 58 on havainnollistettu jännityksien suuruus erottelulaitteiden eri alueilla probeja käyttämällä. Huomataan, että todellinen maksimijännityksen suuruus RS 700 laitteella noin 115 MPa ja RS 1400 noin 208 MPa



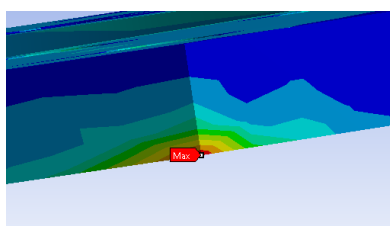
KUVA 58. RS 700 mallin jännityksien jakauma rakenteessa

Molempien erottelulaitteiden kiinnityslevyjen ainevahvuuden todettiin kestävän laitteen painon sen ollessa täynnä nestettä. Kiinnityslevyjen jännitykset laitteille on esitetty kuvassa 59.



KUVA 59. Kiinnityslevyjen jännitykset molemmille laitteille

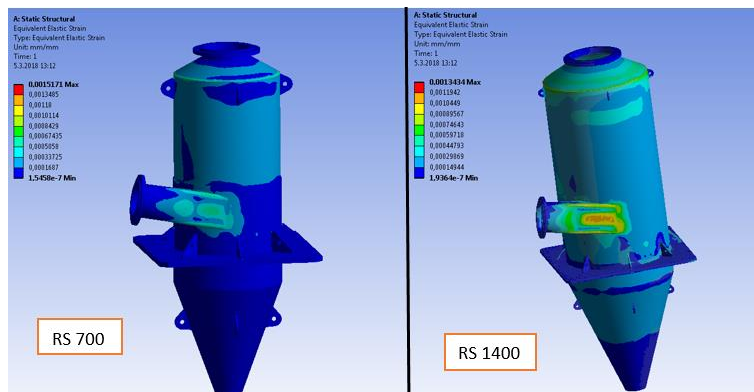
Kiinnityslevyjen maksimijännitys sijaitsee kiinnityslevyn kulmassa. Tämä todennäköisesti johtuu tuennasta, joka asetettiin kiinnityslevyn reunoille (kuva 60).



KUVA 60. Kiinnityslevyn maksimijännitys

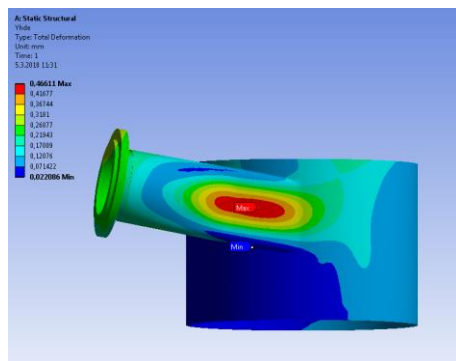
11.2 Venymät

Laitteiden maksimipäävenymät sijaitsevat laitteiden yhteen ulkoseinämällä. Standardissa EN 13455-3 mukaan rakenteen päävenymän tulee olla alle 5% ja sen tulee noudattaa lineaaris-elastista ideaaliplastisuuden perusolettamaa (SFS EN 13445-3, 584). RS 700 päävenymien arvoksi saatiin 0,15% ja RS 1400 0,13%, jotka ovat standardin mukaisesti hyväksyttävät (kuva 61).



KUVA 61. RS 700 ja RS 1400 päävenymät

Erottelulaitteiden paineen kuormituksesta syntyvät suurimmat muodonmuutokset (Total Deformation) ilmenevät niin ikään yhteen ulkoseinämässä (kuva 62).



KUVA 62. RS 700 muodonmuutokset

Kyseiset muodonmuutokset ovat molemmilla laitteilla ovat kuitenkin suuruudeltaan hyvin pieniä.

12 YHTEENVETO JA ARVIOINTI

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda parametrinen 3D-malli Valmetin raskaan rejektin erottelulaitteille, joka mahdollisti tuoteperheen eri kokoluokkien generoinnin. Tarkoituksena oli myös suorittaa riittävät lujuuslaskelmat tuoteperheelle, jotta voitiin todeta ja varmistaa laitteiden tukirakenteiden ja painesäiliön kesto.

Työn toteutus aloitettiin perehtymällä Valmetin Optitrap reject separator (RS) erottelulaitteiden toimintaan prosessissa sekä niiden suunnittelussa tarvittavaan aineistoon. Työn pääpaino keskittyi tuoteperheen parametrinen 3D- mallin luomiseen sekä FEM- laskentamallin kehittämiseen ja sen tuloksien tutkimiseen. Työ aloitettiin luomalla erottelulaitteiden CAD-geometria Inventorilla. Mallin parametrisuus toteutettiin sitomalla kaikkien laitekokojen 3D-mallin mitat Excel-tiedostoon. Laitekokoluokan mittoja muuttamalla parametritiedostossa 3D-mallin rakenne päivittyi automaattisesti Inventorissa. Tämän jälkeen suoritettiin 3D-mallien geometrian korjaus ja optimointi ANSYS Spaceclaim-ohjelmalla ennen lujuuslaskentaa. Lujuuslaskenta toteutettiin ANSYS- ohjelmalla käyttäen elementtimenetelmää (Finite Element Method)

Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin tuoteperheen parametrinen 3D- mallin ja lujuuslaskennan osalta. Työ suoritettiin Valmetin laatimien erottelulaitteiden teknisien tietojen sekä vaadittavien direktiivien ja standardien mukaisesti. Lopputuloksena syntyi tuoteperheen kaikki kokoluokat kattava 3D-mallisarja. Parametrinen 3D- mallin luominen erottelulaitteiden tuoteperheen laitteille mahdollistaa jatkossa, ettei mallia tarvitse enää suurelta osin muokata suunnitteluohjelmassa. FEM analyysin avulla voitiin todeta erottelulaitteiden rakenteen sekä tukirakenteiden kestävän, kun kuormituksena oli painekenttä (prosessipaine) ja nesteen aiheuttama painovoima.

LÄHTEET

Alavataja, A. Technical Product Manager, 2018. Valmetin raskaan rejektin erottelulaitteiden materiaalit. Sähköpostiviesti. ahti.alavataja@valmet.com. Luettu 28.2.2018.

Aho, T. Senior Technology Manager. 2018. Valmetin massankäsittelyn tuotteet ja osaaminen. Sähköpostiviesti. tuomo.aho@valmet.com. Luettu 19.2.2018.

Autodesk support 2017. Top- Down Design. [viitattu 30.11.2017]. Saatavissa: <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Inventor-Help/files/GUID-3EDEE28E-2884-4507-8DA7-0AE52977A5ED-htm.html>

Hietikko, E. 2004. Palkki: Lujuuslaskennan perusteet. Keuruu: Otava

Hietikko, E. 2007. Autodesk Inventor. Helsinki: Readme.fi.

Hietikko, E. 2013. Palkki: Lujuuslaskennan perusteet. 2. painos. Helsinki: BoD - Books on demand.

KnowPap. Paalimassan käsittely ja pulpperointi 2017. Luettu 15.11.2017. http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/2_stock_system/1_stock_preparation/2_bale_pulpers/frame.htm?zoom_highlightsub=pulpperointi

Lähteenmäki, Matti 2012. K12120/2012 Elementtimenetelmien perusteet 5 op. Luentomateriaali. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: http://personal.inet.fi/koti/mlahteen/arkistot/elpe_pdf/johdanto.pdf

Painelaitelaki 1144/2016. [viitattu 3.1.2018]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161144>

Painelaitedirektiivi 2014/68/EU. Euroopan unionin virallinen lehti. L 189/164 [viitattu 22.12.2017]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0068&from=fi>

SFS-EN 10025-2. 2004. Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 2: Seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot. Helsinki: SFS

SFS-EN 10028-7. 2016. Painelaiteteräokset. Levytuotteet. Osa 7: Ruostumattomat teräokset. Helsinki: SFS

SFS-EN 10088-2. 2009. Ruostumattomat teräokset. Osa 2: Yleiseen käyttöön tarkoitetut korroosionkestävät levyt ja nauhat. Tekniset toimitusehdot. 2. painos. Helsinki: SFS.

SFS-EN 1092-1.2007. Laipat ja laippaliitokset. Pyöreät laipat putkille, venttiileille, yhteille ja varusteille, PN-mitoitetut. Osa 1: Teräslaipat. Helsinki: SFS

SFS-EN 13445-3. 2014. Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 3: Suunnittelu. Helsinki: SFS.

Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelijan apuvälineenä. Tampere: Tammertekniikka.

Tukes. 2017a. Painelaitteen suunnittelu ja valmistus. [viitattu 3.1.2018]. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Painelaitteet/Painelaitteen-suunnittelu/>

Tukes. 2017b. Painelaitedirektiivin 2014/68/EU (PED) soveltamisohjeet. [viitattu 3.1.2018]. Saatavissa: http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/direktiivit/PED2014_68_EU_soveltamisohjeet.pdf

Valmet kotisivut. Valmet yrityksenä, Valmetin historia. Luettu 28.9.2017. <http://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/historia/>

Valmet kotisivut. Valmet yrityksenä, avainluvut. Luettu 28.9.2017. <http://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/avainluvut/>

Valmet kotisivut. Valmet yrityksenä, liiketoiminnot. Luettu 28.9.2017. <http://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/liiketoiminnot/>

Xiaolin, C & Yijun, L. 2014. Finite element modeling and simulation with ANSYS Workbench. CRC PRESS. [viitattu 20.12.2017].

LIITTEET

Liite 1. Excel- parametritaulukko

1 (2)

Liite 2. Standardin EN 10028-7 taulukko 15. (SFS-EN 10028-7, 28)

Taulukko 15 Liuotushehkutettujen (ks. [taulukko A.3](#)) austenittisten terästen murtolujuuden vähimmäisarvot korotetuissa lämpötiloissa^a

Teräslaji		Murtolujuuden vähimmäisarvo R_m MPa											
Nimike	Numero-tunnus	lämpötilassa (°C)											
		50 ^b	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Austenittiset korroosionkestävät teräslajit													
X5CrNi18-10	1.4301	494	450	420	400	390	380	380	380	370	360	330	-
X2CrNi19-11	1.4306	466	410	380	360	350	340	340	-	-	-	-	-
X2CrNi18-9	1.4307	466	410	380	360	350	340	340	-	-	-	-	-
X2CrNi18-10	1.4311	527	490	460	430	420	410	410	-	-	-	-	-
X5CrNi19-9	1.4315	527	490	460	430	420	410	410	-	-	-	-	-
X2CrNi18-7	1.4318	605	530	490	460	450	440	430	-	-	-	-	-
X1CrNi25-21	1.4335	459	440	425	410	390	385	380	-	-	-	-	-
X1CrNiSi18-15-4	1.4361	515	490	470	450	435	420	410	400	-	-	-	-
X2CrMnNi17-7-5	1.4371	527	490	460	430	420	410	400	380	370	360	330	-
X12CrMnNi17-7-5	1.4372	640	560	520	500	480	470	460	-	-	-	-	-
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	486	430	410	390	385	380	380	-	-	-	-	-
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	486	430	410	390	385	380	380	380	-	360	-	-
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	557	520	490	460	450	440	435	-	-	-	-	-
X2CrNiMoN21-9-1	1.4420	615	565	535	505	495	480	475	465	455	445	425	-
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	557	520	490	460	450	440	435	435	-	430	-	-
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	486	430	410	390	385	380	380	380	-	360	-	-
X2CrNiMoN18-12-4	1.4434	525	500	470	440	430	420	415	415	415	410	390	-

^a Arvot ovat voimassa pitkittäis- ja poikittaissuunnassa.

^b Arvo määritetty lineaarisella interpoloinnilla.

^c Murtolujuuden arvot ovat voimassa myös rekristallisaatiohehkutetussa tilassa (+RA).

^a Arvot ovat voimassa pitkittäis- ja poikittaissuunnassa.^b Arvo määritetty lineaarisella interpoloinnilla.^c Murtolujuuden arvot ovat voimassa myös rekristallisaatiohehkutetussa tilassa (+RA).

Liite 3. Standardin EN 10088-2 taulukko 15 (SFS-EN 10088-2, 43)

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFSSFS-EN 10088-2
43Taulukko 15 Austenittisten ruostumattomien terästen 0,2 %- ja 1 %-venymisrajojen vähimmäisarvot korotetuissa lämpötiloissa
Table 15 Minimum values for the 0,2 %-and 1 %-proof strength of austenitic steels at elevated temperatures

Teräksen nimi Steel designation	Lämpö- kasittelytila ^a Heat treatment condition ^a	Numero- tunnus Number	0,2 %-rajan vähimmäisarvot, MPa ^b Minimum 0,2 %-proof strength, MPa ^b										1 %-rajan vähimmäisarvot, MPa ^c Minimum 1 %-proof strength, MPa ^c									
			lämpötilassa °C at a temperature (in °C) of																			
			100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Standardteräokset Standard grades																						
X10CrNi18-8	+AT	1.4310	210	200	190	185	180	180	-	-	-	-	230	215	205	200	195	195	-	-	-	-
X2CrNiN18-7	+AT	1.4318	265	200	185	180	170	165	-	-	-	-	300	235	215	210	200	195	-	-	-	-
X2CrNi18-9	+AT	1.4307	147	132	118	108	100	94	89	85	81	80	181	162	147	137	127	121	116	112	109	108
X2CrNi19-11	+AT	1.4306	147	132	118	108	100	94	89	85	81	80	181	162	147	137	127	121	116	112	109	108
X2CrNiN18-10	+AT	1.4311	205	175	157	145	136	130	125	121	119	118	240	210	187	175	167	161	156	152	149	147
X5CrNi18-10	+AT	1.4301	157	142	127	118	110	104	98	95	92	90	191	172	157	145	135	129	125	122	120	120
X6CrNiTi18-10	+AT	1.4541	176	167	157	147	136	130	125	121	119	118	208	196	186	177	167	161	156	152	149	147
X4CrNi18-12	+AT	1.4303	155	142	127	118	110	104	98	95	92	90	188	172	157	145	135	129	125	122	120	120
X2CrNiMo17-12-2	+AT	1.4404	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98	199	181	167	157	145	139	135	130	128	127
X2CrNiMoN17-11-2	+AT	1.4406	211	185	167	155	145	140	135	131	128	127	246	218	198	183	175	169	164	160	158	157
X5CrNiMo17-12-2	+AT	1.4401	177	162	147	137	127	120	115	112	110	108	211	191	177	167	156	150	144	141	139	137
X6CrNiMoTi17-12-2	+AT	1.4571	185	177	167	157	145	140	135	131	129	127	218	206	196	186	175	169	164	160	158	157
X2CrNiMo17-12-3	+AT	1.4432	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98	199	181	167	157	145	139	135	130	128	127
X2CrNiMo18-14-3	+AT	1.4435	165	150	137	127	119	113	108	103	100	98	200	180	165	153	145	139	135	130	128	127
X2CrNiMoN17-13-5	+AT	1.4439	225	200	185	175	165	155	150	-	-	-	255	230	210	200	190	180	175	-	-	-
X1NiCrMoCu25-20-5	+AT	1.4539	205	190	175	160	145	135	125	115	110	105	235	220	205	190	175	165	155	145	140	135
Erikoisteräokset Special grades																						
X5CrNi17-7	+AT	1.4319	157	142	127	118	110	104	98	95	92	90	191	172	157	145	135	129	125	122	120	120
X5CrNiN19-9	+AT	1.4315	205	175	157	145	136	130	125	121	119	118	240	210	187	175	167	161	156	152	149	147
X1CrNi25-21	+AT	1.4335	150	140	130	120	115	110	105	-	-	-	180	170	160	150	140	135	130	-	-	-
X6CrNiNb18-10	+AT	1.4550	177	167	157	147	136	130	125	121	119	118	211	196	186	177	167	161	156	152	149	147
X1CrNiMoN25-22-2	+AT	1.4466	195	170	160	150	140	135	-	-	-	-	225	205	190	180	170	165	-	-	-	-
X6CrNiMoNb17-12-2	+AT	1.4580	186	177	167	157	145	140	135	131	129	127	221	206	196	186	175	169	164	160	158	157
Taulukko 15 jatkuu / Table 15 continued																						

Taulukko 15 jatkuu / Table 15 continued

Liite 4. Standardin EN 10025-2 taulukko 7 (SFS EN 10025-2, 42)

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

SFS-EN 10025-2
42

Taulukko 7 Mekaaniset ominaisuudet huoneenlämpötilassa levytuotteille ja pitkille tuotteille, jolle esitetään iskutiheysvaatimukset

Nimike	Yliempi myötöraja R_{eH} vähintään ^a MPa ^b										Murtolujuus R_m ^a MPa ^b					
	Nimellispaksuus mm										Nimellispaksuus mm:					
	EN 10027-1 ja CR 10260	EN 10027-2	≤ 16	> 16	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	> 250 ≤ 400 ^c	< 3	≥ 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400 ^c
S235JR	S235JR	1.0C38	235	225	215	215	215	195	185	175	—	360...510	360...510	350...500	340...490	—
		1.0114	235	225	215	215	215	195	185	175	—	360...510	360...510	350...500	340...490	—
		1.0117	235	225	215	215	215	195	185	175	165	360...510	360...510	350...500	340...490	330...480
S275JR	S275JR	1.0C44	275	265	255	245	235	225	215	205	—	430...580	410...560	400...540	380...540	—
		1.0143	275	265	255	245	235	225	215	205	—	430...580	410...560	400...540	380...540	—
		1.0145	275	265	255	245	235	225	215	205	195	430...580	410...560	400...540	380...540	380...540
S355JR	S355JR	1.0C45	355	345	335	325	315	295	285	275	—	510...680	470...630	450...600	450...600	—
		1.0E53	355	345	335	325	315	295	285	275	—	510...680	470...630	450...600	450...600	—
		1.0E77	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510...680	470...630	450...600	450...600	450...600
S355K2	S355K2	1.0E96	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510...680	470...630	450...600	450...600	450...600
		1.0E90 ^d	450	430	410	390	380	380	—	—	—	—	550...720	530...700	—	—

^a Levyille, nauhoille ja leville lattiatangoille, joiden leveys on ≥ 600 mm, käytetään valussuuntaan nähden poikittaisia (t) vetokeksauvoja. Kaikilla muilla tuotteilla arvot ovat voimassa valussuuntaan nähden pitkittään (l) otetuille keksauvoille.

^b 1 MPa = 1 N/mm².

^c Arvot ovat voimassa levytuotteille.

^d Vain pinta-tuotteet.

^a Levyille, nauhoille ja leveille lattiatangoille, joiden leveys on ≥ 600 mm, käytetään valssausuuntaan nähden poikittaisia (t) vetokoesauvoja. Kaikilla muilla tuotteilla arvot ovat voimassa valssausuuntaan nähden pitkittäin (t) otetuille koesauvoille.

^b 1 MPa = 1 N/mm².

^c Arvot ovat voimassa levytuotteille.

^d Vain pikar tuotteet.

{jatkuu}

Liite 5. RS 700 ja RS 1400 rejektikartion laskenta

REJECT CONE, RS 700			
Lieriö 1			
Ds [mm]	710	$V = \pi \cdot Ds^2 / 4 \cdot H$	
H [mm]	203		
V [m³]	0,080		
Kartio			
Ds [mm]	710	$V = \pi \cdot h / 3 (Ds^2 + Ds \cdot ds + ds^2)$	
ds [mm]	160		
H [mm]	755		
V [m³]	0,127		
Lieriö 2			
Ds [mm]	160		
H [mm]	75		
V [m³]	0,002		
REJECT CONE	0,209 [m3]	209,03 kg	2090 N